国家示范性高职院校建设项目成果
高等职业教育教学改革系列规划教材
四川省精品资源库高职高专共享课程

维修电工实训教程

主　编　罗华富

副主编　王舒华　本柏忠

主　审　罗光伟

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

内 容 简 介

本书从实践应用的角度出发，深入浅出地介绍了安全用电、常用低压电器、电工基本操作技能、电动机的电气控制线路、常用机床的调试与安装等。本书以能力为本，重视操作技能的培养，是集理论与实践为一体的专业课程教材。全书共分为 5 个项目，主要内容包括：入厂培训、C616 车床电气控制线路装调（测绘）、CW6140 车床电气控制线路装调、XA6132 铣床电气控制线路设计与装调、为用户定制低压配电箱。

本书可作为高等职业院校电气自动化等专业的教材，也可作为维修电工专业技能考核认证的培训教材，同时也适合作为电气线路维修从业人员及业余爱好者的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

维修电工实训教程/罗华富主编. —北京：电子工业出版社，2014.7

高等职业教育教学改革系列规划教材

ISBN 978-7-121-23118-6

Ⅰ. ①维…　Ⅱ. ①罗…　Ⅲ. ①电工－维修－高等职业教育－教材　Ⅳ. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 087027 号

策划编辑：王艳萍
责任编辑：王凌燕
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编：100036
开　　本：787×1092　1/16　印张：17.25　字数：474.7 千字
版　　次：2014 年 7 月第 1 版
印　　次：2014 年 7 月第 1 次印刷
印　　数：3 000 册　　定价：35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前　　言

本书根据高等职业教育电气类专业技能要求及国家职业技能鉴定（维修电工中、高级）考核标准，将理论与实践、知识与技能有机地融于一体，着重于操作技能的培养，突出维修电工的基本知识和常用电器的使用、维护、安装调试、故障诊断。

本书从实践应用的角度出发，深入浅出地介绍了安全用电、常用低压电器、电工基本操作技能、电动机的电气控制线路、常用机床的调试与安装等。本书将电工技术及其他相关专业技术有机地结合起来，如各种万用表的使用是电工所必须掌握的一项基本操作技能，在低压电器实训里将进行反复练习，使学生掌握这一基本技能，从而体现高等职业学院的“以实践操作培养为重点”的教学模式。

另外，考虑到学生毕业后面临的现代企业的实际需要，本书适当地灌输了一些企业必需的质量意识、安全意识、管理意识，并介绍了当前科技发展的趋势，使学生能够适应未来技术进步的需要，尽快融入社会当中。

本书分为 5 个项目，王舒华老师编写项目 1，罗华富老师、殷佳琳老师编写项目 2，本柏忠老师编写项目 3，蔡黎老师、严俊长老师编写项目 4，黎智老师、秦敏老师编写项目 5。全书由罗华富老师统稿，马玉娟校对，四川工程职业技术学院罗光伟老师主审。本书在编写过程中得到了四川工程职业技术学院低压电器精品课程组全体老师的大力指导和帮助，特别是得到了马利军工程师的大力支持和指导，在此一并表示衷心感谢。

本书带有配套的立体化教学资源库，包括课程大纲、学习指南、电子教学课件、习题答案等，请有需要的教师登录华信教育资源网（http://www.hxedu.com.cn）免费注册后进行下载，如有问题请在网站留言或与电子工业出版社联系，也可登录本书的精品资源共享课程网站（ http://course.scetc.net/webapps/portal/frameset.jsp?tab_id=_2_1&url=/bin/common/course.pl?course_id%3D_826_1）观看动画、视频、教学录像等更多教学资源。

由于作者水平有限，书中难免有错误之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

编　者

2014 年 3 月

目　　录

项目 1　入厂培训 …… (1)

1.1 学习任务及要求 …… (1)

1.2 知识链接 …… (2)

1.2.1 企业文化 …… (2)

1.2.2 企业规章制度 …… (5)

1.2.3 6S 现场管理法 …… (10)

1.2.4 安全用电 …… (14)

1.2.5 接地与接零 …… (28)

1.2.6 室内线路 …… (33)

1.3 技能训练：室内照明线路设计与安装 …… (42)

习题 1 …… (44)

项目 2　C616 车床电气控制线路装调（测绘） …… (49)

2.1 学习任务及要求 …… (49)

2.2 知识链接 …… (51)

2.2.1 常用电工工具介绍 …… (51)

2.2.2 常用电工仪表 …… (58)

2.2.3 低压电器基本知识 …… (76)

2.2.4 开关电器 …… (78)

2.2.5 主令电器 …… (81)

2.2.6 熔断器 …… (84)

2.2.7 低压断路器 …… (87)

2.2.8 接触器 …… (89)

2.2.9 继电器 …… (92)

2.2.10 电动机的保护环节 …… (98)

2.2.11 电气控制线路装调（测绘） …… (100)

2.3 安装、接线操作技能 …… (107)

2.3.1 导线的选择 …… (107)

2.3.2 导线绝缘层的剖削 …… (114)

2.3.3 导线的连接 …… (118)

2.3.4 布线 …… (137)

2.3.5 电气元件安装 …… (157)

2.3.6 防雷接地安装 …… (162)

2.4 C616 车床控制线路装调 …… (168)

习题 2 …… (170)

项目 3　CW6140 车床电气控制线路装调 …… (174)

3.1　学习任务及要求 …… (174)

3.2　知识链接 …… (175)

3.2.1　电气绘图与识图 …… (175)

3.2.2　三相笼型异步电动机定子绕组串电阻降压启动 …… (183)

3.2.3　Y-△降压启动 …… (184)

3.2.4　自耦变压器降压启动 …… (185)

3.2.5　延边三角形降压启动 …… (186)

3.2.6　三相异步电动机电气制动控制 …… (187)

3.2.7　车床的主要结构及运动形式 …… (191)

3.2.8　电气控制线路装调 …… (194)

3.2.9　车床常用低压电器故障及维修 …… (194)

3.3　CW6140 车床电气控制线路装调实训 …… (197)

习题 3 …… (198)

项目 4　XA6132 铣床电气控制线路设计与装调 …… (201)

4.1　学习任务及要求 …… (201)

4.2　知识链接 …… (202)

4.2.1　Z3050 型钻床电气控制系统 …… (202)

4.2.2　继电器、接触器电气控制系统的设计 …… (207)

4.2.3　XA6132 型铣床的电气控制 …… (217)

4.3　XA6132 型铣床控制电路安装 …… (222)

习题 4 …… (224)

项目 5　为用户定制低压配电箱 …… (225)

5.1　学习任务及要求 …… (225)

5.2　知识链接 …… (226)

5.2.1　配电装置的基本要求 …… (227)

5.2.2　低压配电装置的安装与维护 …… (229)

5.2.3　故障条件下的触电防护 …… (235)

5.2.4　漏电保护装置的技术参数与应用 …… (240)

5.2.5　常用低压电气元件的选用 …… (245)

5.2.6　低压配电柜质量检查 …… (250)

5.3　车间配电柜的设计 …… (251)

习题 5 …… (252)

附录 A　中级维修电工理论复习试题及答案 …… (253)

中级维修电工理论复习试题 …… (253)

中级维修电工理论复习试题答案 …… (257)

附录 B　导线颜色选择 …… (259)

附录 C　照明装置安装工程施工及验收规范 …… (261)

附录 D　习题答案 …… (266)

项目 1

入厂培训

1.1 学习任务及要求

1. 培训对象说明

凡进入本学习领域的学生都应接受专业的入厂培训。

2. 培训内容

① 了解企业基本状况。
② 掌握电工安全用电基本知识。
③ 室内线路与电气照明知识的学习。
④ 电工基本技能。
⑤ 学习电气技术培训车间相关规章制度。
⑥ 学习 6S 管理现场管理法。

3. 目标要求

① 学员要达到了解企业文化、主要产品及企业规章制度等。
② 学员要达到掌握电工安全用电基本知识。
③ 学员要达到掌握常用工具及仪表的使用。
④ 学员要达到掌握电工基本操作。
⑤ 学员要达到熟悉电气技术培训车间相关规章制度。
⑥ 学员要达到熟悉学习 6S 管理现场管理法。

4. 学时要求

在 30 个学时之内完成整个培训。

5. 需准备的资料

① 企业文化方面的资料。
②《维修电工实训教程》。
③ 6S 管理现场管理方面的资料。

6. 预习要求

① 阅读企业文化方面的资料。
② 阅读《维修电工实训教程》。
③ 阅读 6S 管理现场管理方面的资料。
④ 阅读国家/行业相关规范与标准。

7. 重点或难点

① 电工安全用电基本知识。
② 常用工具及仪表的使用。
③ 电工基本技能。
④ 学习电气技术培训车间相关规章制度。

8. 学习方法建议

① 收集需准备的资料。

② 预习基础知识，重点是电工安全用电基本知识、常用工具及仪表的使用、电工基本技能、电气技术培训车间相关规章制度。

③ 听理论知识讲解时，注意联系实际工作中遇到的问题。

1.2 知识链接

1.2.1 企业文化

1. 什么是企业

企业一般是指以营利为目的。运用各种生产要素（土地、劳动力、资本和技术等），向市场提供商品或服务，实行自主经营、自负盈亏、独立核算的具有法人资格的社会经济组织。所谓“自负盈亏”意即：自己承担亏损与盈利的后果，有一定的自主权。

在商品经济范畴，作为组织单元的多种模式之一，按照一定的组织规律，有机构成的经济实体，一般以营利为目的，以实现投资人、客户、员工、社会大众的利益最大化为使命，通过提供产品或服务换取收入。它是社会发展的产物，因社会分工的发展而成长壮大。企业是市场经济活动的主要参与者；在社会主义经济体制下，各种企业并存共同构成社会主义市场经济的微观基础。按照企业财产组织方式的不同，企业在法律上又可以分为以下三种类型。

① 独资企业：即由单个主体出资兴办、经营、管理、收益和承担风险的企业。

② 合伙企业：即由两个或两个以上的出资人共同出资兴办、经营、管理、收益和承担风险的企业。

③ 公司制企业：即依照《公司法》设立的企业。它是现代企业中最主要、最典型的组织形式。

企业单位与事业单位的划分管理是我国特有的模式。企业单位一般是自负盈亏的生产性

单位。企业单位又分为国企和私企。国企就是属国家所有的企业单位。私企就是属个人所有的企业单位。

2. 企业文化的概念

提到企业文化，大家都不陌生。大家知道，当一个企业刚开始，只有几个人的时候，实际上靠的更多的不是管理，也不是文化，而是老板的个人魅力和员工的个人能力；当企业发展到几十人、上百人的时候，单凭老板的个人魅力已经越来越感到吃力了，这个时候，企业制度管理的作用就发挥出来了；但到了几百人、上千人，甚至更大规模的时候，老板的个人魅力、制度管理等都有了不同程度的局限性，这时，企业文化的作用就充分地展示出来了。所以，有一句话："小企业看老板，中企业看制度，大企业看文化"是有道理的。

企业文化，或者称组织文化（Corporate Culture 或 Organizational Culture），是指企业在社会主义市场经济的实践中，逐步形成的为全体员工所认同、遵守、带有本企业特色的价值观念、经营准则、经营作风、企业精神、道德规范、发展目标的总和。它与文教、科研、军事等组织的文化性质是不同的。

企业文化是企业中形成的文化观念、历史传统、共同价值观念、道德规范、行为准则等企业的意识形态，企业领导者把文化的变化人的功能应用于企业，以解决现代企业管理中的问题，就有了企业文化。企业管理理论和企业文化管理理论都追求效益。但前者为追求效益而把人当作客体，后者为追求效益把文化概念自觉应用于企业，把具有丰富创造性的人作为管理理论的中心。这种指导思想反映到企业管理中去，就有了人们称之为企业文化的种种观念。

企业文化是企业生存、竞争、发展的灵魂，是推动企业发展的不竭动力。它包含着非常丰富的内容，其核心是企业的精神和价值观。这里的价值观不是泛指企业管理中的各种文化现象，而是企业或企业中的员工在从事商品生产与经营中所持有的价值观念。

3. 企业文化的内容

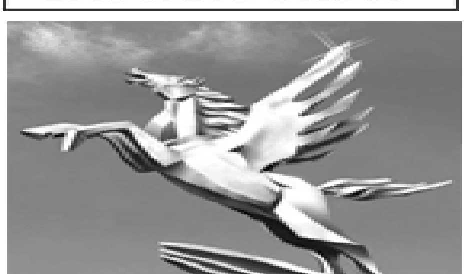
企业文化包含非常丰富的内容，主要包括经营哲学、价值观念、企业精神、企业道德、团体意识、企业形象、企业制度等方面。

（1）企业

企业标志是指用最简洁的符号反映企业文化的特质，用最简明的图形涵盖企业形象的亮点。例如，包头钢铁集团公司的企业标准是"日月同辉"，总体造型为变形的英文字母"B"，是包钢集团英文名称"BAOGANG GROUP"的打头字母，象征着包钢集团的建设发展蒸蒸日上，包钢的美好未来与日月同辉。

（2）企业象征物

包钢的生命之源——白云鄂博，蒙古语意为富饶的圣山，也被传为"神马"奔腾的地方。今天，把包钢比作"双翼神马"，是包钢创新的发展战略的形象体现，是新一代包钢人超越自我，开拓创新，奔向美好明天的理想化身。"双翼神马"展示着包钢果敢地迎接经济全球化和国际竞争的挑战。



（3）企业之旗



旗帜（引申义），可以指一种精神、主义、信仰，即人们愿意信奉并以之作为行为指南的思想理论和具有感召力的能够为人们指引前进方向的精神力量。以C95M55Y0K0蓝色为基调，配以包钢企业标志构成包钢的企业之旗。企业之旗将引领包钢全体职工开拓进取，奋勇前进。

（4）企业之歌

国家有国歌，军队有军歌，有许多城市（包括市、县、乡村）也都有了自己的市歌。企业歌有凝聚人心、鼓舞士气和广告宣传、形象展示的双重效果。包钢的企业之歌是《草原晨曲》，它是歌颂包钢老一辈建设者战天斗地创业精神的影片中的主题曲。歌词形象感人，豪迈激越，对包钢的未来充满信心。《草原晨曲》是包钢的独有资源，传唱近 50 年，有着深厚的历史感和现实意义，产生了极好的激励、催人奋进的社会效果，为企业扬名做出了巨大的贡献。

（5）企业理念

一个鼓舞人心的企业理念是有生命的，她会让人们充满激情，忘掉自我。如果一个企业理念是引人瞩目的、令人兴奋的，企业员工就会认为他们的工作是有意义的、付出是值得的，而且会感到累并快乐着。新世纪新机遇，谁拥有文化优势，谁就拥有竞争优势。包钢的企业理念如下。

生存理念：居安思危，居危思进。

发展理念：观念决定思路，思路决定出路。

学习理念：学习是保持竞争优势的源泉。

市场理念：市场是企业的最高指挥。

效益理念：抓住成本，实现效益最大化。

管理理念：说到做到，严格有效。

营销理念：服务用户，共创双赢。

科技理念：强化科技开发，培育核心技术。

质量理念：千锤百炼，生产用户满意的产品。

4. 应该怎样认识、理解企业文化

第一，要有哲学的方法，从中国企业文化的现实出发，进行深入地调查研究，把握企业文化各种现象之间的本质联系。依据实践经验，从感性认识到理性认识，进行科学的概括、总结。第二，要通过实践把所认知的企业文化的本质及一般的特征去伪存真，从而确定企业文化的本质。第三，要认识到企业文化不是单一的因素构成的，找出企业文化最基本的决定性因素及其与诸因素的关系。第四，要看到企业文化这个概念不是一成不变的，它是一个动态过程，在发展中形成，并在社会历史发展中丰富和变化。

5. 对企业文化含义的片面认识

企业文化这个名词，对于许多人来说并不陌生。而人们对企业文化的理解也是见仁见智，有人认为，企业文化就是在企业内搞的各种文体活动，如打球、唱歌、跳舞等；有人认为，

企业文化就是企业形象设计，也就是 CIS 战略；也有人认为，企业文化就是企业自己办厂刊、厂报，为职工提供一个文化园地；还有人认为，企业文化就是搞思想教育……

从现在的观点来看，这些说法都不够全面。上述种种只是企业文化的表现形式，或者说是企业文化的载体，并不能等同于企业文化。应该明确的是：企业文化不是企业加文化，也不是企业与文化嫁接，更不是企业家与文化人的联谊会。

6. 企业文化的含义

企业文化的内涵具体包括如下一些因素：价值观、行为准则、企业经营管理哲学、经营理念、企业精神等构成企业文化的核心内容。它是企业为生产经营管理而形成的观念的总和，是一种以人为中心的企业管理理论。它强调管理中的软要素，其核心涵义是企业价值观。

7. 企业文化的结构

企业文化的结构是指企业文化系统内各要素之间的时空顺序、主次地位与结合方式。企业文化结构就是企业文化的构成、形式、层次、内容、类型等的比例关系和位置关系。它表明各个要素如何链接，形成企业文化的整体模式，即企业的物质文化、行为文化、制度文化、精神文化形态。

8. 企业文化与企业精神的异同之处

相同处是它们都属于人的意识形态方面的范畴。不同处是企业文化除理念文化那部分内容外，还有其他的内容，如组织制度化、物质文化等。即企业文化的内涵要大于企业精神。

9. 构成企业文化的要素

构成企业文化的要素有 5 个方面：企业环境、价值观、英雄人物、典礼仪式、文化网络。

10. 企业文化的三大结构要素

企业文化的其三大结构要素，即企业物质文化要素、企业制度文化要素、企业精神文化要素。

1.2.2　企业规章制度

1. 企业规章制度概述

企业的规章制度是企业单位制定的组织劳动过程和进行劳动管理的规则和制度的总和。也称为内部劳动规则，是企业内部的“法律”。规章制度内容广泛，包括了用人单位经营管理的各个方面。

根据 1997 年 11 月劳动部颁发的《劳动部关于对新开办用人单位实行劳动规章制度备案制度的通知》，规章制度主要包括：劳动合同管理、工资管理、社会保险福利待遇、工时休假、职工奖惩，以及其他劳动管理规定。

用人单位制定规章制度，要严格执行国家法律、法规的规定，保障劳动者的劳动权利，督促劳动者履行劳动义务。制定规章制度应当体现权利与义务一致、奖励与惩罚结合，不得

违反法律、法规的规定。否则，就会受到法律的制裁。本法第七十九条规定：“用人单位制度的直接劳动者切身利益的规章制度违反法律、法规规定的，由劳动行政部门责令改正，给予警告；给劳动者造成损害的，用人单位应当承担赔偿责任。”

2. 员工的聘任与考核办法

聘任制（engagement system）：用人单位采用合同形式聘用工作人员的方式。又称聘用合同制。按合同规定，用人单位有聘用和解聘的权力，个人有应聘和辞聘的权力。合同规定双方的责、权、利及有效期限，合同期满，经双方同意，可以续聘。聘任制可广泛应用于选拔科学技术人才，也可用于企事业领导班子的选拔，即只聘请主要负责人，然后由他聘请建立一个齐心协力的班子。

考核制：员工的考核是一项经常性的人力资源管理活动，一般称为员工绩效考核，是按照一定的标准，采用科学的方法，对企业员工的品德、工作绩效、能力和态度进行综合地检查和评定，以确定其工作成绩和潜力的管理方法。其实质即是为人力资源管理开发关于现有员工的信息，为员工的报酬、晋升、调整、培训、激励、辞退和生涯管理等工作提供科学的依据。

3. 某企业员工考核制度范例

为加强和提升员工绩效和本公司绩效，提高劳动生产率，增强企业活力，调动员工的工作积极性，使本公司之奖惩有所依循，并使广大员工能全面遵守厂规，秉公平、公开、公正原则，赏罚分明，依据国家有关法规而制定此考核制度。

本制度适用于本公司全体干部、职工（包括试用期内的员工和临时工）。

实施办法：奖惩之公布于每月一次。

评级考核办法：分为主管干部和一般人员两种考核。

① 主管干部依据该主管部门绩效衡量标准：

a．部门工作专业能力。

b．对工作计划的推动能力。

c．对工作的组织能力。

d．对工作上团队运用的协调能力。

e．对工作问题上的改善能力。

f．对平日工作主动积极，负责尽职的责任感。

g．自我开发能力。

② 一般从业人员考核其：

a．作业效率。

b．作业品质。

c．作业配合性。

d．服从管理度。

e．出勤状态。

f．行为状态。

③ 考核等级通常分 a、b、c、d 四等，原则上依比率分配。

④ 考核结果再并入出勤状况，作最后核定考核等级。

⑤ 考勤扣分。

有下列情形不得为 a 等：

a．旷工记录。

b．除公假外有其他请假记录者。

c．警告三次以上者（含）。

有下列情形不得为 a、b 等：

a．请假两日（含）以上的或迟到、早退两次（含）以上。

b．记小过一次（含）。

有下列情形不得为 a、b、c 等：

a．旷工一天以上三天以内的。

b．记小过三次者。

⑥ 奖励种类：嘉奖、小功、大功、工资上调、晋级。

评分等级：10 分、20 分、30 分。

在以下情况中，可以加 10 分：

a．能按时完成领导交办的各项任务，且没有差错。

b．良品率指标稳步达标以上。

c．拾金不昧呈转交公司。

d．积极参与公司各项活动，表现突出的。

e．爱护公司财物，并有具体事迹者。

f．积极主动维护公司制度并有具体事迹者。

g．主动参与各项援助工作，精神可嘉者。

在以下情况中，可以加 20 分：

a．对于主办业务有重大进展或改革绩效者。

b．执行临时紧急任务能按时完成，表现优秀者。

c．检举重大违反规定或损害公司权益事项者。

d．参与紧急救援工作，主动承担并处置得宜者。

职工有下列情况之一者，可以加 30 分：

a．对主办业务有重大革新，提出方案，经采用后成绩卓越者。

b．对于舞弊或有危害本公司权益事情，能事先举报或防止，使公司避免重大损失者。

c．遇意外事件或急变，能随机应变，措施得当，不顾自身安危，勇敢救护从而保全人身及公物减少损害者。

d．研究改善工程制办法，提高产品质量，降低成本有显著功效者。

e．对于生产技术管理制度，提出具体方案，经采用后的确具有成效者。

⑦ 惩罚种类：警告、小过、大过、降级、违纪辞退。评分等级：10 分、20 分、30 分。

对于有下列行为之一的职工，经批评教育不改的应当给予警告并扣 10 分：

a．上班忘记带识别证或工作时间不按规定佩挂识别证，发现一次即以警告处分（识别证一律挂在左胸前）。

b．在工作场所赤足、赤膊、穿拖鞋者。

c．上班时间聊天、嬉戏或从事工作以外事情的工作者。

d．在车间吃东西者。

e．破坏车间、厂区、住宿区域的环境卫生者，乱丢纸屑、随地吐痰等。
f．个人工作机台及工作环境欠整洁，经指正后而不知整理者。
g．因疏忽造成工作错误，情节轻微者。
h．不按规定填写报表或工作记录者。
i．上班时间私自接听私人电话者。
j．检查或督导人员不认真执行任务者。
k．下班后在厂内大声喧哗者。
l．浪费材料或不爱护公物，属情节尚轻者。
m．不按规定乱粘胶带者。
n．上班时坐姿或站姿不端正者。
o．不按规定报不良或废料者。
p．涂写墙壁、机器设备或任意张贴文件影响观瞻者。
q．违反其他规定，情节尚属轻微者。
对于有以下行为之一的职工，应当给予记小过并扣 20 分：
a．对上级交代的任务，执行不力或处理不当者。
b．办事拖拉、积压文件、影响工作处理不当者。
c．在工作场所喧哗，妨害他人工作情节严重者。
d．未经许可擅自带人入厂者。
e．对同事恶意攻击、诬陷、作伪造，制造事端者。
f．在工作时间偷懒、睡觉、阅读书报或做其他私人事情。
g．违反上级指示，情节尚属轻微者。
h．在非工作时间未经许可擅自进入工作场所者。
i．言行失检、态度傲慢、经劝导仍不服从者。
j．被指派加班、加点，借故推脱不办理请假手续者。
k．非机械故障或原料不足因素，故意降低产量标准者。
l．携带物品出入工厂拒绝警备人员查询检查者。
m．放长流水，开长明灯，并与管理干部顶撞者。
n．擅自利用公司电话打私人电话者。
o．故意拖延或借口搪塞上级指派的工作者。
p．属警告事项，但拒绝认错者。
q．遇到意外重大问题而隐瞒真相，不向上级报告者。
r．下班铃及休息铃未响前擅自停工者。
对于有以下行为之一的职工，应当给予记大过并扣 30 分：
a．在上班时间喝酒者。
b．上班时间擅离岗位，影响本职工作者。
c．报告不实，蒙蔽上级者。
d．违反工作方法，严重影响生产或产品质量者。
e．捏造不实记录、报表或口供蒙蔽上级者。
f．投机取巧，牟取利益者。
g．接受与职务有关的馈赠者。

h．造谣生事，散播流言，使公司蒙受重大损失者。
i．利用公司设备制作私人物品或委托他人制造。
j．拒绝服从主管人员合理指挥、督导或无理取闹者。
k．破坏设备、工具或浪费原材料能源造成经济损失者。
l．违反技术操作规程，或未完成卫生规定，使公司蒙受经济损失者。
m．工作精神散漫，故意不按规定时间完成生产或工作任务者。
n．故意撕毁工厂的公告、文件者。
o．在禁烟区内吸烟者。
p．未经许可擅自进入管制区域者。
q．有小过行为之一，经记过处分仍不知悔改且重犯错误者。
r．有本条款行为之一，如情节较轻，且事后知道悔改的可减为记过处分。
s．故意怠工者。

职工在同一年度累计有两个大过（含）以上者，可给予降级、降职处分。

对于有下列行为之一的职工，应当给予开除：

a．对上级领导及其家属或其他职工施加暴行或有重大侮辱之行为者。
b．被法院判刑者。
c．厂内聚众闹事酗酒，同事间争吵打架或以煽动怠工罢工影响生产或工作秩序者。
d．利用公司名义招摇撞骗，使公司蒙受名誉或经济损害者。
e．侵占公款公物者。
f．故意泄露公司技术上的秘密或未经许可擅自翻阅、抄录、影印资料者。
g．故意破坏设备、工具原材料、产品或其他公物者。
h．在厂内聚赌或具有重大伤风败俗之行为者。
i．伪造或盗用公司账单，伪造公司文件者。
j．在同年度内记大过三次者。
k．偷窃公司或他人财物者。
l．在外从事第二职业或其他也非经营活动者。
m．伪造工作证或借用他人的工作证或将工作证借给他人蒙混入厂者。
n．无正当理由拒绝领导的工作分配调动者。
o．违反技术操作规范或安全卫生分配调动者。
p．有记大过各款行为之一，经记大过处分后，仍不知悔改并重犯错误。
q．有本条款行为之一，如情节较轻，且事后尚知悔改的商议处分。

⑧ 考核等级如表 1-1 所示。

表 1-1 考核等级

等 级	得 分	分配比例	奖金系数	备 注
a	90 以上	10%		须于考核表内注明理由
b	75～90	60%		
c	60～75	25%		
d	60 以下	5%		须于考核表内注明理由

*c 级不变 d 级辞退

1.2.3 6S 现场管理法

1. 6S 活动的含义

6S 现场管理是国际上最先进的现场管理工具和现场管理方法之一。5S 现场管理起源于日本，开始于 20 世纪 50 年代，成熟于 20 世纪 80 年代。在日本主要是推行 5S 现场管理。由于以丰田公司为代表的日本企业推行 5S 现场管理取得了成功，之后很快传播到世界各地。5S 现场管理于 20 世纪 90 年代传入我国，从珠三角到长三角地区，由南往北快速发展。在 5S 现场管理发展过程中，以海尔为代表的一些企业又增加了一个“S”（安全），就变成了 6S 现场管理。

因开展 6S 活动具有操作简单、见效快、效果看得见、能持续改善等特点，开展 6S 活动的企业越来越多。目前全球有 65%的企业都在广泛地推行 5S 或 6S 现场管理。6S 现场管理就是针对经营现场和工作现场开展的一项精益现场管理活动，其活动内容为“整理（SEIRI）、整顿（SEITON）、清扫（SEISO）、清洁（SEIKETSU）、素养（SHITSUKE）、安全（SECURITY）”，因前 5 个内容的日文罗马拼音和后一项内容（安全）的英文单词里都以“S”开头，所以简称 6S 现场管理。开展以整理、整顿、清扫、清洁、安全和修身为内容的活动，称为 6S 活动。

在 6S 现场管理的发展过程中，很多企业把 6S 现场管理作为提升企业整体管理和提升企业品牌形象的抓手，已经将 6S 现场管理延伸到企业管理的多个方面，所以人们现在又将 6S 现场管理称为 6S 管理，大大拓展了 6S 的内涵和外延。6S 管理还在发展，一些企业在 6S 管理的基础上加上节约（SAVE）就变成 7S，加上服务（SERVICE）就变成了 8S，再加上顾客满意（SATISFACTION）就变成了 9S。虽然如此，最精髓的还是 5S 现场管理，在我国最被企业认同的、应用最广泛的是 6S 管理。

6S 活动起源于日本，并在日本企业中广泛推行，1955 年，日本的 6S 的宣传口号为“安全始于整理，终于整理整顿”。当时只推行了前两个“S”，其目的仅为了确保作业空间和安全。后因生产和品质控制的需要而又逐步提出了 3S，也就是清扫、清洁、素养，从而使应用空间及适用范围进一步拓展，到了 1986 年，日本关于 6S 的著作逐渐问世，从而对整个现场管理模式起到了冲击作用，并由此掀起了 6S 的热潮。它相当于我国企业开展的文明生产活动。6S 活动的对象是现场的“环境”，它对生产现场环境全局进行综合考虑，并制订切实可行的计划与措施，从而达到规范化管理。6S 活动的核心和精髓是修身，如果没有职工队伍修身的相应提高，6S 活动就难以开展和坚持下去。

2. 6S 活动的内容

（1）整理

把要与不要的人、事、物分开，再将不需要的人、事、物加以处理，这是开始改善生产现场的第一步。其要点是对生产现场的现实摆放和停滞的各种物品进行分类，区分什么是现场需要的，什么是现场不需要的。其次，对于现场不需要的物品，诸如用剩的材料、多余的半成品、切下的料头、切屑、垃圾、废品、多余的工具、报废的设备、工人的个人生活用品等，要坚决清理出生产现场，这项工作的重点在于坚决把现场不需要的东西清理掉。对于车间里各个工位或设备的前后、通道左右、厂房上下、工具箱内外，以及车间的各个死角，都要彻底搜寻和清理，达到现场无不用之物。坚决做好这一步，是树立好作风的开始。日本有

的公司提出口号：效率和安全始于整理！

整理的目的是：

① 改善和增加作业面积。

② 现场无杂物，行道通畅，提高工作效率。

③ 减少磕碰的机会，保障安全，提高质量。

④ 消除管理上的混放、混料等差错事故。

⑤ 有利于减少库存量，节约资金。

⑥ 改变作风，提高工作情绪。

（2）整顿

把需要的人、事、物加以定量、定位。通过前一步整理后，对生产现场需要留下的物品进行科学合理的布置和摆放，以便用最快的速度取得所需之物，在最有效的规章、制度和最简捷的流程下完成作业。

整顿活动的要点是：

① 物品摆放要有固定的地点和区域，以便于寻找，消除因混放而造成的差错。

② 物品摆放地点要科学合理。例如，根据物品使用的频率，经常使用的东西应放得近些（如放在作业区内），偶尔使用或不常使用的东西则应放得远些（如集中放在车间某处）。

③ 物品摆放目视化，使定量装载的物品做到过日知数，摆放不同物品的区域采用不同的色彩和标记加以区别。

生产现场物品的合理摆放有利于提高工作效率和产品质量，保障生产安全。这项工作已发展成一项专门的现场管理方法——定置管理。

（3）清扫

把工作场所打扫干净，设备异常时马上修理，使之恢复正常。生产现场在生产过程中会产生灰尘、油污、铁屑、垃圾等，从而使现场变脏。脏的现场会使设备精度降低，故障多发，影响产品质量，使安全事故防不胜防；脏的现场更会影响人们的工作情绪，使人不愿久留。因此，必须通过清扫活动来清除那些脏物，创建一个明快、舒畅的工作环境。

清扫活动的要点是：

① 自己使用的物品，如设备、工具等，要自己清扫，而不要依赖他人，不增加专门的清扫工。

② 对设备的清扫，着眼于对设备的维护保养。清扫设备要同设备的点检结合起来，清扫即点检；清扫设备要同时做设备的润滑工作，清扫也是保养。

③ 清扫也是为了改善。当清扫地面发现有飞屑和油水泄漏时，要查明原因，并采取措施加以改进。

（4）清洁

整理、整顿、清扫之后要认真维护，使现场保持完美和最佳状态。清洁，是对前三项活动的坚持与深入，从而消除发生安全事故的根源，创造一个良好的工作环境，使职工能愉快地工作。

清洁活动的要点是：

① 车间环境不仅要整齐，而且要做到清洁卫生，保证工人身体健康，提高工人劳动热情。

② 不仅物品要清洁，而且工人本身也要做到清洁，如工作服要清洁，仪表要整洁，及时理发、刮胡须、修指甲、洗澡等。

③ 工人不仅要做到形体上的清洁，而且要做到精神上的“清洁”，待人要讲礼貌、要尊重别人。

④ 要使环境不受污染，进一步消除混浊的空气、粉尘、噪声和污染源，消灭职业病。

（5）素养

素养即修身，努力提高人员的素养，养成严格遵守规章制度的习惯和作风，是 6S 活动的核心。没有人员素质的提高，各项活动就不能顺利开展，开展了也坚持不了。所以，抓 6S 活动，要始终着眼于提高人的素质。

（6）安全

重视成员安全教育，每时每刻都有安全第一的观念，防范于未然。目的：建立起安全生产的环境，所有的工作应建立在安全的前提下。

3. 6S 活动的三个基本原则

（1）现场、现物、现实

6S 活动是以现场为中心而推行的一项基本管理活动。只有我们不断地深入现场、观察现物、了解现实，才能够发现问题、解决问题，去创造亮点，使它更深入、更持久地坚持下去。

（2）问题眼光

问题眼光是 6S 活动展开的一个非常重要的前提条件，只有我们带着专业的眼光，从专业的角度用心去观察现场，把问题当问题发现出来，而且把问题当问题来对待，才能够有效地去改善现场，提高我们的现场管理水平。通过问题眼光的培养，使员工建立正确的问题意识，而且真正懂得大家参与进来去发现问题，去解决问题。所以问题眼光是 6S 活动的一个基本原则。

（3）持之以恒原则

6S 活动开展起来比较容易，可以搞得轰轰烈烈，在短时间内取得明显的效果，但要坚持下去，持之以恒，不断优化就不太容易了。不少企业发生过一紧、二松、三垮台、四重来的现象。因此，开展 6S 活动贵在坚持，为将这项活动坚持下去，企业首先应将 6S 活动纳入岗位责任制，使每一部门、每一人员都有明确的岗位责任和工作标准；其次，要严格、认真地搞好检查、评比和考核工作，将考核结果同各部门和每一人员的经济利益挂钩；第三，要坚持 PDCA 循环，不断提高现场的 6S 水平，即要通过检查，不断发现问题，不断解决问题。因此，在检查考核后，还必须针对问题，提出改进的措施和计划，使 6S 活动坚持不断地开展下去。

4. 6S 现场管理法的推行步骤

掌握了 6S 现场管理法的基础知识，尚不具备推行 6S 活动的能力。因推行步骤、方法不当导致事倍功半，甚至中途夭折的事例并不鲜见。因此，掌握正确的步骤、方法是非常重要的。

步骤 1：成立推行组织。

① 委员会及推行办公室成立。

② 组织职掌确定。

③ 委员的主要工作。

④ 编组及责任区划分。

建议由企业主要领导出任 6S 活动推行委员会主任职务，以视对此活动的支持。具体安排上可由副主任负责活动的全面推行。

步骤 2：拟订推行方针及目标。

方针制定：

推动 6S 管理时，制订方针作为导入的指导原则。

例一：推行 6S 管理，塑造一流形象。

例二：告别昨日，挑战自我，塑造公司新形象。

例三：于细微之处着手，塑造公司新形象。

例四：规范现场、现物、提升人的品质。

方针的制定要结合企业具体情况，要有号召力。方针一旦制定，要广为宣传。

目标制定：

先设定期望目标，作为活动努力的方向及便于活动过程中的成果检查。

例一：第 4 个月各部门考核 90 分以上。

例二：有来宾到厂参观，不必事先临时做准备。

目标的制定也要同企业的具体情况相结合。

步骤 3：拟订工作计划及实施方法。

① 日程计划作为推行及控制的依据。

② 资料及借鉴他厂做法。

③ 6S 活动实施办法。

④ 与不要的物品区分的方法。

⑤ 6S 活动评比的方法。

⑥ 6S 活动奖惩办法。

⑦ 相关规定（6S 时间等）。

⑧ 工作一定要有计划，以便大家对整个过程有一个整体的了解。项目责任者清楚自己及其他担当者的工作是什么及何时要完成，相互配合造就一种团队作战精神。

步骤 4：教育。

① 每个部门对全员进行教育。

② 6S 现场管理法的内容及目的。

③ 6S 现场管理法的实施方法。

④ 6S 现场管理法的评比方法。

⑤ 新进员工的 6S 现场管理法训练。

教育是非常重要的，让员工了解 6S 活动能给工作及自己带来的好处从而主动地去做，与被别人强迫着去做其效果是完全不同的。教育形式要多样化，讲课、放录像、观摩他厂案例或样板区域、学习推行手册等方式均可视情况加以使用。

步骤 5：活动前的宣传造势。

6S 活动要全员重视、参与才能取得良好的效果。

① 最高主管发表宣言（晨会、内部报刊等）。

② 海报、内部报刊宣传。

③ 宣传栏。

步骤 6：实施。

① 作业准备。

②“洗澡”运动（全体上下彻底大扫除）。

③ 地面划线及物品标识标准。

④ 展开“3 定”、“3 要素”。

⑤ 摄影。

⑥“6S 日常确认表”及实施。

⑦ 作战。

步骤 7：活动评比办法确定。

① 系数：困难系数、人数系数、面积系数、教养系数。

② 评分法。

步骤 8：查核。

① 查核。

② 问题点质疑、解答。

③ 各种活动及比赛（如征文活动等）。

步骤 9：评比及奖惩。

依 6S 活动竞赛办法进行评比，公布成绩，实施奖惩。

步骤 10：检讨与修正。

各责任部门依缺点项目进行改善，不断提高。

① QC 手法。

② IE 手法。

在 6S 活动中，适当地导入 QC 手法、IE 手法是很有必要的，能使 6S 活动推行得更加顺利、更有成效。

步骤 11：纳入定期管理活动中。

① 标准化、制度化的完善。

② 实施各种 6S 现场管理法强化月活动。

③ 需要强调的一点是，企业因其背景、架构、企业文化、人员素质的不同，推行时可能会有各种不同的问题出现，推行办要根据实施过程中所遇到的具体问题，采取可行的对策，才能取得满意的效果。

1.2.4 安全用电

1. 电气安全用具

为防止电气工作人员作业中发生人身触电、高处坠落、电弧灼伤等伤害事故，保障工作人员人身安全的各种专用工具和用具，统称为电气安全用具。

（1）电气安全用具种类

① 防护用具：包括接地线、隔离板、遮拦、安全工作牌、安全腰带。

② 绝缘安全用具：分辅助绝缘用具和基本绝缘用具。

辅助安全用具的绝缘强度不能承受电气设备或线路的工作电压，只能加强基本安全用具的保护作用，用来防止接触电压、跨步电压、电弧灼伤等对操作人员的危害。辅助绝缘用具主要有绝缘手套、绝缘鞋、绝缘垫、绝缘台、低压绝缘台等。

基本安全用具的绝缘强度能长期承受工作电压，并能在本工作电压等级产生过电压时，

保证工作人员的人身安全。基本安全用具可分为高压绝缘安全用具和低压绝缘安全用具。高压绝缘安全用具主要有绝缘棒、绝缘靴、绝缘夹钳、高压试电笔等，低压绝缘安全用具主要有绝缘手套、装有绝缘柄的工具、低压试电笔等。

（2）掌握常用安全用具的使用方法

① 绝缘手套。绝缘手套可以使人的两手与带电体绝缘，用特种橡胶（或乳胶）制成，有高压、低压两种，外观如图 1-1（a）所示。绝缘手套不能用医疗手套或化工手套代替。绝缘手套一般作为辅助安全用具，在 1kV 以下电气设备上使用时可以作为基本安全用具。

操作高压隔离开关和油断路器等设备在带电运行的高压电器和低压电气设备上工作时，预防接触电压。

② 绝缘鞋与绝缘靴。绝缘鞋有高、低腰两种，在明显处标有“绝缘”和耐压等级，1kV 以下作为辅助绝缘用具，1kV 以上禁止使用。其外观如图 1-1（b）所示。



（a）绝缘手套　　　　（b）绝缘靴与绝缘鞋

图 1-1　绝缘手套、绝缘靴与绝缘鞋

提示：不能用防雨胶靴代替绝缘靴或绝缘鞋。

绝缘靴采用特种橡胶制成，作用是使人体与大地绝缘，防止跨步电压触电，分 20kV（试验电压）和 6kV 两种。它的高度不小于 15cm，而且上部另加高 5cm。必须按规定进行定期试验。

绝缘手套和绝缘靴都是辅助安全用具，但绝缘手套可作为低压工作的基本安全用具，绝缘靴可作为防护跨步电压的基本安全用具。绝缘手套的长度至少应超过手腕 10cm。

③ 绝缘棒，又称绝缘杆、操作杆或拉闸杆，用电木、胶木、塑料、环氧玻璃布棒等材料制成，结构如图 1-2 所示。

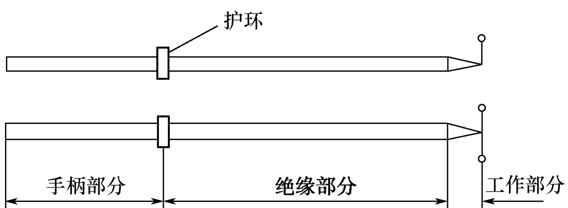


图 1-2　绝缘棒的结构

绝缘部分和手柄部分用保护环隔开，保护环由浸过绝缘漆的木材、硬塑料、胶木或玻璃钢制成。配备不同工作部位的绝缘杆，可用来操作高压隔离开关、跌落式保险，安装和拆除临时接地线，安装和拆除避雷器，以及进行测量和试验等项工作。考虑到电力系统内部过电压的可能性，绝缘杆的绝缘部分和手柄部分的最小长度应符合要求。绝缘杆工作部分金属钩

的长度，在满足工作要求的情况下，不宜超过 5～8cm，以免操作时造成相间短路或接地短路。

④ 验电器。验电器分为高压和低压两类。低压验电器又称为试电笔，其主要作用是检查电气设备或线路是否带有电压；高压验电器还可以用于测量高频电场是否存在。验电器由绝缘材料制成的一根空心管子构成，管子上端有金属制的工作触头，管内装有氖光灯和电容器。另外，绝缘和手柄部分用胶木或硬橡胶制成。

低压验电器除判断电气设备或线路是否带电外，还可以用于区分相线（火线）和地线（零线）。此外，还能区分交流电和直流电，交流电通过氖光灯泡时，两极都发亮；而直流电流通过时仅一个电极发亮。

⑤ 绝缘夹钳。绝缘夹钳主要是在 35kV 及以下的电气设备装拆熔断器等工作时使用。绝缘夹钳由钳把、钳身和钳口三部分组成，钳把和钳身用护环隔开，如图 1-3 所示，钳口要保证夹紧，各部分所使用的材料与绝缘棒相同。

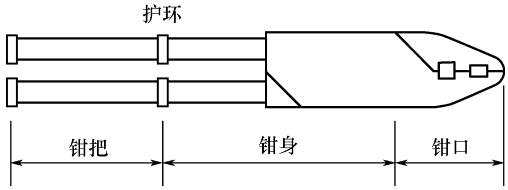
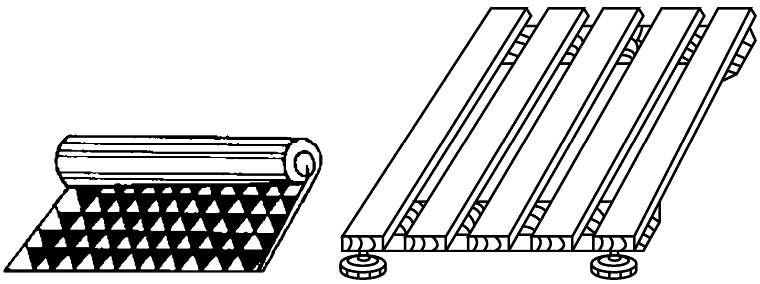


图 1-3　绝缘夹钳

⑥ 绝缘台、绝缘垫、绝缘毯。绝缘台、绝缘垫和绝缘毯均是辅助安全用具。绝缘台用干燥的木板或木条制成，其站台的最小尺寸是 0.8m×0.8m，为了便于移动和检查，最大尺寸不宜超过 1.5m×1.0m。四角用绝缘子做台脚，其高度不得小于 10cm。绝缘垫和绝缘毯由特种橡胶制成，其表面有防滑槽纹，厚度不小于 5mm，其最小尺寸不宜小于 0.8m×0.8m。它们一般用于铺设在高、低压开关柜前，作为固定的辅助安全用具，具体如图 1-4 所示。



（a）绝缘垫　　（b）绝缘台

图 1-4　绝缘垫与绝缘台

（3）登高安全工具试验标准

登高安全工具试验标准如表 1-2 所示。

表 1-2　登高安全工具试验标准

名　　称		试验静拉力（N）	试 验 周 期	外表检查周期	试验时间（min）
安全带	大皮带	2205	半年一次	每月一次	5
	小皮带	1470			

续表

名　　称	试验静拉力（N）	试 验 周 期	外表检查周期	试验时间（min）
安全绳	2205	半年一次	每月一次	5
升降板	2205	半年一次	每月一次	5
脚　扣	980	半年一次	每月一次	5
竹（木）梯	试验荷重 1765N（180kg）	半年一次	每月一次	5

（4）常用电气绝缘工具试验

常用电气绝缘工具试验如表 1-3 所示。

表 1-3　常用电气绝缘工具试验

序　　号	名　　称	电压等级（kV）	周　　期	交流耐压（kV）	时间（min）	泄漏电流（mA）	附　　注
1	绝缘棒	6～10	每年一次	44			
		35～154		四倍相电压			
		220		三倍线电压			
2	绝缘挡板	6～10	每年一次	30	5		
		35（20～44）		80	5		
3	绝缘罩	35（20～44）	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35 及以下	每年一次	三倍线电压	5		
		110		260			
		220		440			
5	绝缘笔	6～10	每 6 个月一次	40	5		发光电压不高于额定电压的 20%
		20～35		105			
6	绝缘手套	高压	每 6 个月一次	8	1	≤9	
		低压		2.51		≤2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每 6 个月一次	15	1	≤7.5	
8	核相器	6	每 6 个月一次	6	1	1.7～2.4	
	电阻管	10		10		1.4～1.7	
9	绝缘绳	高压	每 6 个月一次	105/0.5m	5		

（5）电气安全标志

为了引起人们对不安全因素的注意，预防事故的发生，需要在各有关场合作出醒目标志，即安全标志。安全标志由安全色、几何图形和图形符号构成，用以表达特定的安全信息。安全标志可以和文字说明的补充标志同时使用。补充标志应位于安全标志几何图形的下方，文字有横写、竖写两种形式，设置在光线充足、醒目、稍高于人视线处。

安全标志分为禁止标志、警告标志、指令标志、提示标志四类。国家标准 GB 2894－82《安全标志》对安全标志的尺寸、衬底色、制作、设置位置、检查、维修及各类安全标志的几何图形、标志数目、图形颜色及其补充标志等都进行了具体规定。

禁止标志的几何图形是带斜杠的圆环，图形背景为白色，圆环和斜杠为红色，图形符号

为黑色。禁止标志有禁止烟火、禁止吸烟、禁止用水灭火、禁止通行、禁放易燃物、禁带火种、禁止启动、修理时禁止转动、运转时禁止加油、禁止跨越、禁止乘车、禁止攀登、禁止饮用、禁止架梯、禁止入内、禁止停留等 16 个。

警告标志的几何图形是三角形，图形背景是黄色，三角形边框及图形符号均为黑色。警告标志有注意安全、当心火灾、当心爆炸、当心腐蚀、当心有毒、当心触电、当心机械伤人、当心伤手、当心吊物、当心扎脚、当心落物、当心坠落、当心车辆、当心弧光、当心冒顶、当心瓦斯、当心塌方、当心坑洞、当心电高辐射、当心裂变物质、当心激光、当心微波、当心滑跌等 23 个。

表 1-4 列举了几种安全标志的图样、名称、悬挂处所及式样等。

表 1-4　电气安全标志

图　样	名　称	悬挂处所	式　样		
			尺寸（mm）	颜　色	字　样
	禁止合闸，有人工作	一经合闸即可送电的施工设备断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
	禁止合闸，线路有人工作	线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）把手上	200×100 和 80×50	红底	白字
	在此工作	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底，中间有直径210mm的白圆圈	黑字，写于白圆圈中
	止步，高压危险	施工地点临近带电设备遮栏上；室外工作地点的围栏上；禁止通行的过道上；高压试验地点；室外构架上；工作地点临近带电设备的横梁上	250×200	白底 红边	黑字，有红色箭头
	从此上下	工作人员上下的铁架、梯子上	250×250	绿底，中间有直径210mm的白圆圈	黑字，写于白圆圈中
	禁止攀登，高压危险	工作人员上下的铁架临近可能上下的另外铁架上，运行中变压器的梯子上	250×200	白底红边	黑字
	已接地	悬挂在已接地线的隔离开关操作把手上	240×130	绿底	黑字

指令标志的几何图形是圆形，背景为蓝色，图形符号为白色。指令标志有：必须戴防护眼镜、必须戴防毒面具、必须戴安全帽、必须戴护耳器、必须戴防护手套、必须穿防护靴、必须系安全带、必须穿防护服 8 个。

提示标志的几何图形是长方形，按长短边的比例不同，分一般提示标志和消防设备提示标志两类。提示标志图形背景为绿色，图形符号及文字为白色。一般提示标志有太平门、紧急出口、安全通道三个。消防提示标志有消防警铃、火警电话、地下消火栓、地上消火栓、消防水带、灭火器、消防水泵接合器 7 个。

提示：禁止标志是不得做什么的标志，警告标志是工作中要特别注意的标志，指令标志是提醒人们必须遵守的一种标志，提示标志是指示目标方向的安全标志。

（6）安全用电措施

根据规程规定，在全部停电或部分停电的电气设备上工作时，必须完成下列安全组织措施和安全技术措施。

① 安全组织措施。安全组织措施主要有工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断转移和工作终结及送电制度等。

② 安全技术措施。安全技术措施包括停电、验电、装设临时接地线、悬挂标示牌和装设临时遮栏等。

（7）电工安全操作规程

电工操作关系到生产及人身安全，为保证生产及生活的正常进行，为保证电工人身安全，电工作业必须遵守《电工安全操作规程》。除此之外，还应该熟悉各行业或企业根据自身情况颁布的相关电气作业安全技术规程。

① 电工安全操作规程：

- 电工作业人员必须经过有关部门安全技术培训，取得特种作业操作证后方可独立上岗操作。现场用电作业必须由电工完成，严禁他人私拉乱接等。学徒工、实习生不得单独作业。
- 所有绝缘、检验工具，应妥善保管，严禁他用，并应定期检查、检验。
- 现场施工用电、高低压设备及线路，应按照有关电气安全技术规程组织设计、施工及安装和架设。线路上禁止带负荷接电或断电，并禁止带电操作。
- 电气设备和线路必须绝缘良好，电线不得与金属物绑在一起；各种施工用电设备必须按规定进行保护接零及装设漏电保护器。遇有临时停电或停工休息时，必须拉闸加锁。
- 电气着火时，应立即将有关电源切断，使用绝缘灭火机或干砂灭火。
- 在施工现场专用的中性点直接接地的电力系统中，必须采用 TN－S 接零保护系统。
- 施工现场每一处重复接地的接地电阻值应不大于 10Ω，且不得少于三处（即总配电箱、线路的中间和末端处）。
- 电气设备所有熔断丝（片）的额定电源应与其负荷容量相适应。禁止用其他金属丝代替熔断丝。
- 动力线路与照明线路必须分开架设。照明开关、灯口及插座等，应正确接入相线及零线。
- 施工现场夜间临时照明电线及灯具，室内高度应不低于 2.4m，室外高度应不低于 3m。易燃、易爆场所应使用防爆灯具。施工现场照明灯具的金属外壳和金属支架必须做保护接零。电线应采用三芯橡皮护套电缆，严禁使用花线和护套线。
- 按规定做好钢管脚手架、物料提升机、塔吊等设备的防雷接地保护。接地体可用角钢，

不得使用螺纹钢，接地电阻应符合规范要求。

- 不准酒后上班，更不得班中饮酒。
- 电气设备的金属外壳，必须接有保护零线，同一供电系统不允许电气设备有的保护接地，而有的保护接零。
- 施工现场配电箱要有防雨措施，门锁齐全，有色标，统一编号。开关箱要做到一机一闸，箱内无杂物；开关箱、配电箱内严禁动力、照明混用；要有检修记录及记录本。
- 移动电箱电源线长度不大于 30m，移动用电设备引出线不大于 5m。
- 电气设备烧毁时，需检查好原因再更换，防止再次发生事故。
- 每个电工必须熟练掌握触电急救方法，有人触电应立即切断电源，按触电急救方案实施抢救。

② 维修电工安全操作规程：

- 熟悉电气安全知识和触电急救方法，并经考试合格发给操作证才能操作。新工人要有师傅带领教学。
- 必须认真执行各项电气安全管理规定，做到装得安全，拆得彻底，检查经常，修理及时。
- 工作前，必须检查工具、测量仪器和绝缘用具的灵敏性和安全可靠性。禁止使用失灵的测量仪器和绝缘不良的工具。
- 任何电器设备未经验电，一律视为有电，不准用手触及。开关跳闸后，须将线路仔细检查一遍，方可推上开关，不允许强行送电。
- 动力配电箱的闸刀开关，禁止带负荷拉开。凡校验及修理电气设备时，应切断电源，取下熔断丝，挂上“禁止合闸，有人工作”的警告牌。停电警告牌应谁挂谁取。
- 不准带电作业，遇有特殊情况不能停电时，应经领导同意，并在有经验的电工监护下，划出危险禁界区域，采取严格的安全绝缘措施方能操作。工作时要戴安全帽、穿长袖衣服、戴绝缘手套，使用有绝缘柄的工具，并站在绝缘垫上进行。邻近两相的带电部分和接地金属部分应用绝缘板隔开。严禁使用锉刀、钢尺等进行工作。
- 工作临时中断后或每班开始工作前，都必须重新检查电源，验明无电方可继续工作。
- 带电装卸熔断丝时，要戴好绝缘手套，必要时使用绝缘夹钳，站在绝缘垫上。熔断丝的容量要与设备或线路安装容量相适应。不得使用超容量的熔断丝，严禁用铜丝或其他金属丝代替熔断丝。
- 电气设备的金属外壳必须接地（或接零）。接地线要符合标准。有电设备不准断开外壳接地线。
- 电器或线路拆除后，遗留的线头应及时用绝缘布包扎好。
- 安装或维修照明灯具时，必须分清相线和火线。安装灯头时，开关必须接在火线上，灯口螺纹必须接在零线上。
- 严格执行临时线的接、装、拆制度。在检查中，发现有私自接装的电气设备或灯具等，应予以拆除，确保用电安全。
- 动力配电盘、配电箱、开关、变压器等各种电器设备附近要勤检查，不准堆放各种易燃、易爆、潮湿和其他影响操作的物件，并做好清洁保养工作。
- 每次维修结束时，必须清点所带工具、零件，以防遗失在设备里造成事故。
- 由专门的检修人员修理电气设备时，值班电工要进行登记，完工后要做好交代并共同

检查，然后方可送电。

- 临时装设的电气设备必须将金属外壳接地。严禁将电动工具的外壳接地线和工作零线拧在一起插入插座。必须使用两线带地或三线带地插座，或者将外壳接地线单独接到接地干线上，以防接触不良时引起外壳带电。用橡套软电缆连接移动设备时，专供保护接零的电线上不许有工作电流通过。
- 登高作业必须系好安全带。使用竹梯时，应认真检查，梯脚要有防滑措施，放在坚固的支持物上，顶端必须扎牢或梯脚有人扶住。缺档、损坏、霉蛀的竹梯不准使用。使用人字梯时，拉绳必须牢固。
- 使用 36V 以上的手持电动工具，应有良好的接地。检查所用的电动工具电压等级是否与电源电压相符。使用时，必须戴好绝缘手套和站在绝缘垫上工作。绝缘工具要定期做好耐压试验，确保用具安全可靠。
- 使用喷灯时，油量不得超过容积的 3/4。打气要适当。不得使用漏油、漏气的喷灯。不准在易燃易爆物品附近点火使用。
- 使用柴油、煤油清洗零件时，附近不得吸烟和明火作业，用后应将油盘盖好，保管好。禁止用汽油清洗零件。
- 由于电气设备引起火警时，应立即切断电源，并使用干粉或 1211 灭火器扑救。严禁用水或泡沫灭火器扑救。

2. 触电及其预防和急救

1）触电的原因

因人体接触或接近带电体所引起的局部受伤或死亡的现象叫做触电。造成触电的原因主要有以下几类：

① 线路架设不合规格。

② 电气操作制度不严格。

③ 用电设备不合要求。

④ 用电不规范。

⑤ 设备绝缘老化。

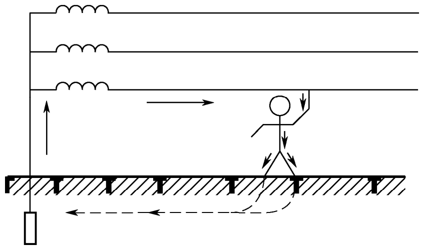
2）触电类型

（1）低压触电

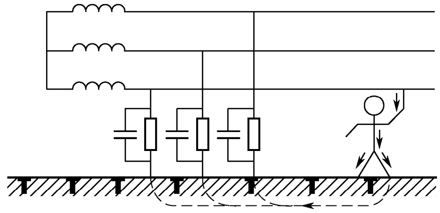
低压触电有两种类型，单相触电和两相触电。

① 单相触电。单相触电是指人体接触带电体或线路中的某一相，电流从带电体流经人体到大地（或零线）形成回路。此时，人体承受相电压。单相触电可分为中性点接地系统的单相触电（如图 1-5（a）所示）和中性点不接地系统的单相触电（如图 1-5（b）所示）两种。一般不接地系统大多是 6～10kV，在这种系统里单相触电几乎是致命的。

② 两相触电。两相触电也叫相间触电，是人体与大地绝缘时，人体同时接触两根不同的相线或人体的不同部分同时接触同一电源的任何两相导线。两相触电时电流由一根相线经人体流到另一根相线，形成闭合回路。此时人体承受线电压，比单相触电更具有危险性，如图 1-6 所示。



(a)三相电源中性点接地



(b)三相电源无中线或中线不接地

图 1-5　单相触电

(2)高压触电

① 跨步电压触电。当高压线断落触地，雷电流入地，或运行中的电气设备因绝缘损坏漏电时，会在导线接地点及周围地面形成强电场。人跨进这个区域，两脚间将存在电位差，电流从接触高电位的脚流进，经过人体，从接触低电位的脚流出，即为跨步电压触电。如图 1-7 所示电压 U 即为跨步电压。如果遇到这种危险场合，应合拢双脚，跳离接地点 20m 之外，以保障人身安全。

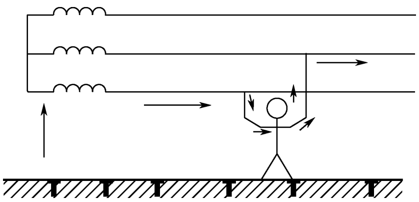


图 1-6　两相触电

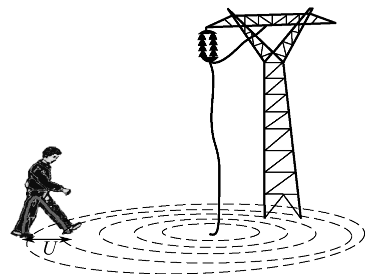


图 1-7　跨步电压触电

② 高压电弧触电。人体过分接近高压带电体会引起电弧放电，给人体带来致命的电击和电伤，称为高压电弧触电。

低压触电都是由于人直接或间接接触火线造成的，所以不要接触低压带电体。高压触电是由于人靠近高压带电体造成的，所以不要靠近高压带电体。

提示：低压勿摸，高压勿近！

(3)雷击触电

雷害事故是一种自然现象，是雷云向地面凸出的导电物体放电时引起的自然灾害。雷电流可能导致直接伤害和间接伤害。直接雷击可将人击毙或击伤、灼伤；间接伤害有可能发生跨步电压触电和接触电压触电及感应电压触电。

除了上述触电类型，还有感应电压触电、残余电荷触电、静电触电等其他触电情况。

3）触电对人体的伤害

(1)触电对人体伤害的类型

按人体受伤害的程度不同，触电可分为电击和电伤两类。

① 电击。电击是电流通过人体，使机体组织受到刺激，肌肉不由自主地发生痉挛性收缩造成的伤害。严重的电击是指人的心脏、肺部神经系统的正常工作受到破坏，产生休克，甚至造成生命伤害，数十毫安的工频电流即可使人遭到致命的电击。电击致伤的部位主要在人体内部，而在人体外部不会留下明显痕迹，致命电流较小。有效值 50mA 以上的工频交流电

流通过人体，一般既可能引起心室颤动或心脏停止跳动，也可能导致呼吸中止。

如果通过人体的电流只有 20～25mA，一般不会直接引起心室颤动或心脏停止跳动。但如时间较长，仍可导致心脏停止跳动。这时心室颤动或心脏停止跳动主要是由于呼吸中止，导致机体缺氧引起的。

② 电伤。电伤是由于电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体造成的伤害，造成电伤的电流都比较大。电伤会在机体表面留下明显的伤痕，但其伤害作用可能深入体内。热效应会导致电烧伤、电烙印；化学效应会引起皮肤金属化、电光眼；机械效应可能直接致人机械损伤、骨折等。电伤主要伤害人体外部，在人体外表留下明显的痕迹，电流进出口烧伤最严重，致命电流较大。

电烧伤是最常见的电伤。大部分电击事故都会造成电烧伤。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。电流越大、通电时间越长，电流通过途径的电阻越小，则电流灼伤越严重。由于人体与带电体接触的面积一般都不大，加之皮肤电阻又比较高，使得皮肤与带电体的接触部位产生较多的热量，受到严重的灼伤。当电流较大时，可能灼伤皮下组织。

由于接近高压带电体时会发生击穿放电，因此，电流灼伤一般发生在低压电气设备上，往往数百毫安的电流即可导致灼伤。

电烙印是电流通过人体后，在接触部位留下的斑痕。斑痕处皮肤变硬，失去原有弹性和色泽，表层坏死，失去知觉。

皮肤金属化是金属微粒渗入皮肤造成的。受伤部位变得粗糙而张紧。皮肤金属化多在弧光放电时发生，而且一般都伤在人体的裸露部位。当发生弧光放电时，与电弧烧伤相比，皮肤金属化不是主要伤害。

电光眼表现为角膜和结膜发炎。在弧光放电时，红外线、可见光、紫外线都可能损伤眼睛。对于短暂的照射，紫外线是引起电光眼的主要原因。

（2）触电对人体伤害的影响因素

触电对人体伤害的程度受到电流、电压大小、电流持续时间、电流流经人体的途径、电流频率、人体电阻等因素的影响。其中，电流的影响至关重要。

① 电流。以下几个重要的电流值反映了电流对人体的影响。

感知电流：用手握住电源时，能引起人体感觉的最小电流值称为感知电流。成年男性的平均感知电流约为 1.1mA，成年女性约为 0.7mA。

摆脱电流：人体触电后，在不需要任何外来帮助情况下能自主摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。当 18～22mA（摆脱电流的上限）的工频电流通过人体的胸部时，如果电流停止，呼吸即可恢复，而且不会因短暂的呼吸停止而造成不良后果。成年男性的最大摆脱电流约为 9mA，成年女性约为 6mA。

致命电流：在较短的时间内危及生命的最小电流称为致命电流。50Hz 交流电和直流电流过人体时，对人体的伤害如表 1-5 所示。国家规定通过人体的最大安全电流为 30mA。

表 1-5　电流对人体的伤害

电流（mA）	交流电（50Hz）	直　流　电
0.6～1.5	手指开始发麻	无感觉
2～3	手指感觉强烈发麻	无感觉
5～7	手指肌肉感觉痉挛	手指感觉灼热和刺痛

续表

电流（mA）	交流电（50Hz）	直 流 电
8～10	手指关节与手掌感觉痛，手已难于脱离电源，但尚能摆脱	手指感觉灼热，较 5～7mA 时更强
20～25	手指感觉剧痛，迅速麻痹，不能摆脱电源，呼吸困难	灼热感很强，手的肌肉痉挛
50～80	呼吸麻痹，心室开始震颤	强烈灼热感，手的肌肉痉挛，呼吸困难
90～100	呼吸麻痹，持续 3s 或更长时间后心房停止跳动	呼吸麻痹
>500	延续 1s 以上有死亡危险	呼吸麻痹，心室颤动，心跳停止

② 电压。人体接触的电压越高，流过人体的电流越大，对人体的伤害越严重。

③ 电流持续时间。人体触电电流越大，触电时间越长，电流对人体产生的热伤害、化学伤害及生理伤害越严重。

一般来讲，短时间内，工频电流 15～20mA、直流 50mA 以内基本安全。长时间工频电流 8～10mA 会导致人死亡。

④ 电流流经途径。电流从不同的路径流经人体，对人体的伤害程度有所不同。电流通过头部可使人昏迷；通过脊髓可能导致肢体瘫痪；通过心脏可造成心脏停搏、血液循环中断；通过呼吸系统会造成窒息。因此，电流从左手到胸部的危险性最大；从手到手、从手到脚也是很危险的电流路径；从脚到脚的危险性较小，但容易造成腿部肌肉痉挛而摔倒，导致二次触电。

⑤ 电流频率。50～60Hz 的交流电对人最危险，随着频率的升高，触电危险程度将下降。在电流相同的条件下，直流电的危险性要低于交流电。对动物进行实验得到不同频率的触电死亡率如表 1-6 所示。

表 1-6　不同频率的触电死亡率（动物实验）

频率（Hz）	10	25	50	60	80
死亡率（%）	21	70	95	91	43
频率（Hz）	100	120	200	500	1000
死亡率（%）	34	31	22	14	11

⑥ 人体状况。人体电阻越大，受电流伤害越轻。人体电阻由体内电阻和体表电阻组成，体内电阻基本不变，体表电阻受较多因素影响，如果皮肤表面角质层损伤、皮肤潮湿、流汗、带着导电粉尘，对带电体接触面大、接触压力大等，都会大幅度增加触电伤害程度。通常人体电阻可按 1～2kΩ考虑。

提示：

① 人的性别、健康状况、精神状态等与触电伤害程度有着密切关系。

② 女性比男性更容易受电流伤害。

③ 老人、小孩比青年更容易受电流伤害。

④ 体弱的人比健康的人更容易受电流伤害。

4）触电的预防

（1）直接触电的预防

① 绝缘措施。良好的绝缘是保证电气设备和线路正常运行的必要条件。例如，新装或大修后的低压设备和线路，绝缘电阻不应低于 0.5MΩ；高压线路和设备的绝缘电阻不低于每伏 1000MΩ。

② 屏护措施。凡是金属材料制作的屏护装置，应妥善接地或接零。

③ 间距措施。在带电体与地面间、带电体与其他设备间应保持一定的安全间距。间距大小取决于电压的高低、设备类型、安装方式等因素。

（2）间接触电的预防

① 加强绝缘。对电气设备或线路采取双重绝缘、使设备或线路绝缘牢固。

② 电气隔离。采用隔离变压器或具有同等隔离作用的发电机。

③ 自动断电保护。漏电保护、过流保护、过压或欠压保护、短路保护、接零保护等。

5）触电急救

（1）触电的现场抢救

① 使触电者尽快脱离电源。

- 如果触电现场远离开关或不具备关断电源的条件，救护者可站在干燥木板上，用一只手抓住衣服将其拉离电源，如图 1-8 所示。也可用干燥木棒、竹竿等将电线从触电者身上挑开，如图 1-9 所示。

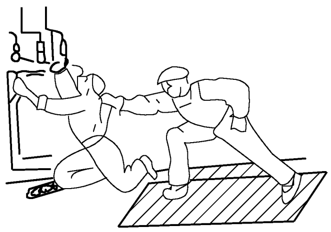


图 1-8　将触电者拉离电源

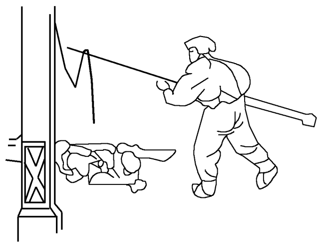


图 1-9　将触电者身上电线挑开

- 如触电发生在火线与大地间，可用干燥绳索将触电者身体拉离地面，或用干燥木板将人体与地面隔开，再设法关断电源。
- 如手边有绝缘导线，可先将一端良好接地，另一端与触电者所接触的带电体相接，将该相电源对地短路。
- 也可用手头的刀、斧、锄等带绝缘柄的工具，将电线砍断或撬断。

② 对不同情况的救治。

- 触电者神志尚清醒，但感觉头晕、心悸、出冷汗、恶心、呕吐等，应让其静卧休息，减轻心脏负担。
- 触电者神智有时清醒，有时昏迷，应静卧休息，并请医生救治。
- 触电者无知觉，有呼吸、心跳。在请医生的同时，应施行人工呼吸。
- 触电者呼吸停止，但心跳尚存，应施行人工呼吸；如心跳停止，呼吸尚存，应采取胸外心脏按压法；如呼吸、心跳均停止，则须同时采用人工呼吸法和胸外心脏按压法进行抢救。

（2）口对口人工呼吸法

此法只对停止呼吸的触电者使用。操作步骤如下：

① 先使触电者仰卧，解开衣领、围巾、紧身衣服等，除去口腔中的黏液、血液、食物、义齿等杂物。

② 将触电者头部尽量后仰，鼻孔朝天，颈部伸直，如图 1-10 所示。救护人一只手捏紧触电者的鼻孔，另一只手掰开触电者的嘴巴，如图 1-11 所示。救护人深吸气后，紧贴着触电者的嘴巴大口吹气，使其胸部膨胀，如图 1-12 所示；之后救护人换气，放松触电者的嘴鼻，

使其自动呼气，如图 1-13 所示。如此反复进行，吹气 2s，放松 3s，大约 5s 一个循环。

③ 吹气时要捏紧鼻孔，紧贴嘴巴，不使其漏气，放松时应能使触电者自动呼气。

④ 如触电者牙关紧闭，无法撬开，可采取口对鼻吹气的方法。

⑤ 对体弱者和儿童吹气时用力应稍轻，以免肺泡破裂。

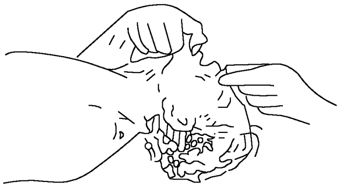


图 1-10　头部后仰图

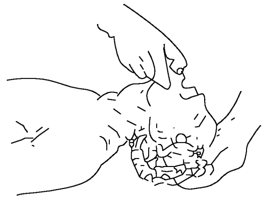


图 1-11　捏鼻掰嘴



图 1-12　贴紧吹气

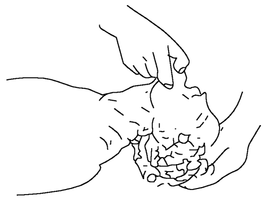


图 1-13　放松换气

（3）胸外心脏按压法

此法是帮助触电者恢复心跳的有效方法。操作要领如图 1-14 至图 1-17 所示。



图 1-14　正确压点

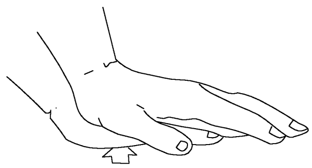


图 1-15　叠手姿势

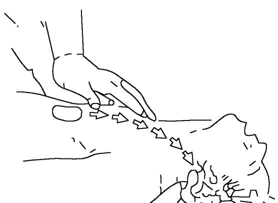


图 1-16　向下挤压

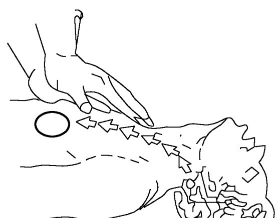


图 1-17　突然放松

3. 电气消防知识

（1）电气火灾的主要原因

电气火灾是指由电气原因引发燃烧而造成的灾害。短路、过载、漏电等电气事故都有可能导致火灾。设备自身缺陷、施工安装不当、电气接触不良、雷击静电引起的高温、电弧和电火花是导致电气火灾的直接原因。周围存放易燃易爆物是电气火灾的环境条件。电气火灾

产生的直接原因有以下几类：

① 设备或线路发生短路故障。电气设备由于绝缘损坏、电路年久失修、疏忽大意、操作失误及设备安装不合格等造成短路故障，其短路电流可达正常电流的几十倍甚至上百倍，产生的热量（与电流的平方成正比）使温度上升超过自身或周围可燃物的燃点引起燃烧，从而导致火灾。

② 过载引起电气设备过热。选用线路或设备不合理，线路的负载电流量超过了导线额定的安全载流量，电气设备长期超载（超过额定负载能力），引起线路或设备过热而导致火灾。

③ 接触不良引起过热。如接头连接不牢或不紧密、动触点压力过小等使接触电阻过大，在接触部位发生过热而引起火灾。

④ 通风散热不良。大功率设备缺少通风散热设施或通风散热设施损坏造成过热而引发火灾。

⑤ 电器使用不当。如电炉、电熨斗、电烙铁等未按要求使用，或用后忘记断开电源，引起过热而导致火灾。

⑥ 电火花和电弧。有些电气设备正常运行时就可能产生电火花、电弧，如大容量开关、接触器触点的分、合操作，都会产生电弧和电火花。电火花温度可达数千摄氏度，遇可燃物便可点燃，遇可燃气体则可能引发爆炸。电弧由大量密集的电火花汇集而成，其温度可高达3000～6000℃。因此，电火花和电弧不仅能引起可燃物燃烧，还能使金属熔化、飞溅，构成危险的火源。

（2）电气火灾的防护措施

要实现对电气设备和线路的安全消防，就必须贯彻“预防为主，防消结合”的方针，要求做到如下几点：

① 各单位消防工作应指定专门领导负责，制订结合本单位实际的防火工作计划。组建基本消防队伍，绘制消防器材平面布置图。

② 消防器材管理要由保卫部门或指定专人负责，并进行登记造册，建立台账。

③ 明确防火责任区，将防火工作切实落实到车间、班组，做到防火安全人人有责，处处有人管。

④ 建立定期检查制度，杜绝火灾、爆炸事故的发生，若发现隐患，应及时整改，并在安全台账上作记录。

⑤ 电气设备应做到防雨、防潮，挂有防触电标志，避免漏电事故。

⑥ 检查电气设备时，应穿绝缘鞋和戴绝缘手套。

⑦ 了解应检查的电气设备的具体状况后再进行具体检查，检查时禁止用手触摸，用相应的电器经试验确认是否有电再进行工作。

⑧ 检查高压电气设备时，检修人员与裸导体应保持 1.8m 以上的安全距离。同时应停电检修的必须停电检修，防止发生触电和烧毁试验仪表事故。

电气火灾事故与一般火灾事故有不同的特点：一是火灾时电气设备带电，如果不注意，可能使扑救人员触电；二是有的电气设备充有大量的油。因此处理时应特别注意以下几项：

① 采取断电措施，防止扑救人员触电。在火灾发生时要立即切断电源，应尽可能通知电力部门切断着火地段电源。在现场切断电源时，应就近将电源开关拉开，或使用绝缘工具切断电源线路。切断低压配电线路时，不要选择同一地点剪断，防止短路。选择断电位置要适当，不要影响灭火工作的进行。不懂电气知识的人员一般不要去切断电源。

② 带电灭火的安全技术要求。为了争取灭火时间，或因特殊情况不允许断电时，则要进行带电灭火，以减少损失。但必须注意以下事项：

- 选择使用不导电的灭火器具，采用二氧化碳、1211 或干粉灭火器，不能使用水溶液或泡沫灭火器材。
- 如采用水枪灭火时，宜用喷雾水枪，其泄漏电流小，对扑救人员比较安全；在不得已的情况下采用直流水枪灭火时，水枪的喷头必须用软铜线接地；扑救人员穿绝缘靴和戴绝缘手套，防止水柱泄漏电流致使人体触电。
- 使用水枪灭火，喷头与带电体之间的距离：110kV 要大于 3m，220kV 要大于 5m；使用不导电的灭火器材，机体喷嘴距带电体的距离：10kV 要大于 0.4m，35kV 要大于 0.6m。
- 架空线路着火，在空中进行灭火时，带电导线断落接地，应立即划定警戒区，所有人员距接地处 8m 以外，防止跨步电压触电。

4. 学习安全事故报告的编写方法

安全事故分轻微安全事故、一般安全事故和重大安全事故。轻微安全事故指未发生人员伤亡，经济损失 2000 元以下；一般安全事故指一次事故造成轻伤或重伤 1～3 人，经济损失 2000～100000 元以下；重大安全事故指发生人员死亡、重伤 3 人以上，经济损失 100000 元以上。建立有效的事故处理机制，对已经发生和正在发生的事故做好事故报告、调查和处理工作，并采取有效预防措施，防止事故扩大和减少事故损失。

事故报告内容应包括：事故发生的时间、地点、单位、简要经过、伤亡人数和已采取的应急措施等。

表 1-7 为安全事故报告书范例。

表 1-7 安全事故报告书范例

事故内容				
发生单位		发生地点		
见 证 人		事故责任人		
发生日期		发生时间		
事故原因				
事故状况				
处理方式			负责人	
根本对策			负责人	
追踪检查			负责人	

审核：　　　　　　　　　　　　制表：

1.2.5 接地与接零

正常情况下，直接防护措施能保证人身安全，但是当电气设备绝缘发生故障而损坏时，造成电气设备严重漏电，使不带电的金属部件呈现危险电压，可能造成间接触电。间接接触防护是为了防止在电气设备发生故障的情况下，发生人身触电事故，也是为了防止电气设备事故进一步扩大。目前主要采取的防护措施有保护接地、保护接零及等电位连接等。

1. 接地的基本概念

（1）接地

在电力系统中，由于正常运行的需要和为了保障人身、设备的安全，将设备和用电装置的中性点、外壳或支架与埋入大地的金属导体相连接，即为接地。

（2）接地体、接地线与接地装置

接地体是埋入地中并直接与大地接触的金属导体，分为自然接地体和人工接地体。接地线是电气设备与接地体连接的导线。接地线和接地体总称接地装置。接地装置将设备上可能产生的漏电流、静电荷及雷电电流等引入地下，从而避免人身触电和可能发生的火灾、爆炸等事故。

2. 接零

在1kV以下变压器中性点直接接地的三相四线制供电系统中，将与带电部分相绝缘的电气设备金属外壳或构架，与中性点直接接地系统零线相连接，称为接零，也称为保护接零。

接零的作用是当电气设备发生碰壳短路时，通过设备外壳形成该相对零线的单相短路，短路电流能促使线路上的短路保护元件迅速动作，从而断开故障设备，避免人体触电危险。因此，在中性点直接接地的1kV以下的系统下必须采取接零保护。保护接地和保护接零如图1-18所示。

3. 接地的基本概念

在电力系统中，接地技术应用很多，通常按接地的作用来分类，常用的有下列几种。

① 保护接地。在1kV以下变压器中性点不接地的三相三线制供电系统中，将正常情况下不带电的设备金属外壳或构架，与大地之间做良好的金属连接称为保护接地。保护接地可防止设备金属外壳因意外带电而危及人身和设备安全。如设有保护接地装置，当绝缘层破坏外壳带电时，接地短路电流将同时沿着接地装置和人体两条通路流过。流过每条通路的电流值将与电阻的大小成反比，通常人体的电阻比接地电阻大几百倍（通常人体电阻可按1～2kΩ考虑），所以当接地电阻很小时，流经人体的电流几乎等于零，因而避免了人体触电的危险。保护接地适用于中性点不接地或不直接接地的电网系统。

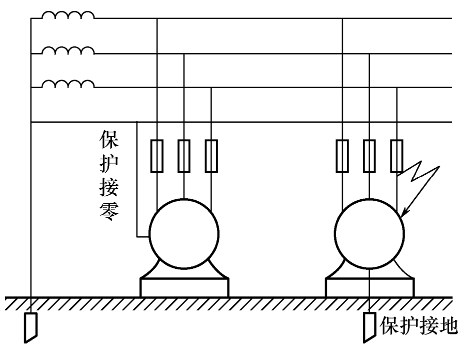


图1-18 保护接零和保护接地

② 工作接地。在正常工作或事故情况下，为保证电气设备正常运行，必须在电力系统中某一点进行的接地称为工作接地。例如，变压器低压侧的中性点、电压互感器和电流互感器

的二次侧某一点接地等。工作接地能保证电气设备可靠地运行；降低人体接触电压；迅速切断故障设备；提高电气设备或送配电线路的绝缘水平。

③ 重复接地。将三相四线制零线上的一点或多点与大地再次做金属连接，称为重复接地。对 1kV 以下的接零系统中，重复接地的接地电阻不应大于 10Ω。重复接地的作用是当系统中发生碰壳或接地短路时，可以降低三相不平衡电路中零线上可能出现的危险电压；当零线发生断线时，可以使故障程度减轻；减轻高电压串入低压侧的危险。

④ 过电压保护接地。为消除电气装置或设备的金属结构免遭大气过电压或操作过电压的接地，称为过电压保护接地。

过电压保护接地的作用是，对于直击雷，避雷装置（包括过电压保护装置在内）能促使雷云电荷和地面感应电荷中和，以防雷击；对静电感应雷，感应产生的静电荷能迅速被导入地中，以防止静电感应过电压；对电磁感应雷，防止感应出非常高的电势，以免产生火花放电而造成燃烧爆炸的危险，所以过电压保护接地也叫防雷接地。在操作过电压时也能保护设备。

⑤ 防静电接地。为了防止和消除生产过程中产生或聚集的静电荷对设备或设施构成威胁而进行的接地，称为防静电接地。

⑥ 屏蔽接地。为防止电磁感应而对电力设备的金属外壳、屏蔽罩、屏蔽线的外皮或建筑物的金属屏蔽体等进行的接地，能避免干扰信号影响电气设备正常工作，这种接地称为屏蔽接地。屏蔽接地也叫隔离接地或金属屏蔽接地。

在以上各种接地中，以保护接地应用最多最广，一般电工在日常施工和维修中，遇到的机会也最多。

4. 保护接地

电气设备正常运行时，不带电的金属外壳及构架等的接地均属于保护接地。

采用保护接地的电气设备一旦绝缘损坏发生碰壳时，漏电电流可以通过接地装置向大地流散，从而降低设备外壳的对地电压，避免发生人身触电事故。

保护接地适用于三相三线制中性点不直接接地的电力系统及三相四线制中性点直接接地的原有公用系统中（由公用变压器供电的低压用户）。

（1）文字代号的含义

低压系统接地制式按配电系统和电气设备接地的不同组合分类，可分为 TN、TT、IT 三种形式，其文字代号的含义如表 1-8 所示。

表 1-8　接地文字代号的含义

第一个字母		表示配电系统的对地关系
文字代号	T	电源端有一点直接接地
	I	电源端所有带电部分与地绝缘，或有一点经阻抗接地
第二个字母		表示电气装置的外露导电部分与地的关系
文字代号	T	外露导电部分对地直接做电气连接，与配电系统的任何接地点无关
	N	外露导电部分与配电系统的接地点直接做电气连接（在交流配电系统中，接地点通常就是中性点）

（2）保护接地与保护接零

① 不同点。

保护原理不同：保护接地是将故障电流引入大地，保护接零是将故障引入系统，促使保护装置迅速动作而切断电源。

适用范围不同：保护接地适用于一般的低压中性点不接地的电网及采用了其他安全措施的低压接地电网，也能用于高压不接地的电网之中。保护接零适用于中性点直接接地的低压电网。

线路结构不同：保护接地系统除相线外，只有保护地线。保护接零系统除相线外，必须有零线；必要时保护零线要与工作零线分开；其重复接地也应有地线。

② 相同点。

目的基本相同：在低压系统中都是为了防止漏电造成触电事故的技术措施。

措施大致相同：要求采取接地措施与要求接零措施的项目大致相同。

组成结构基本类似：接地与接零都要求有一定的接地装置，而且各接地装置的接地体和接地线的施工、连接都基本相同。

（3）接地系统

① TN 系统。电力系统有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分通过保护线与该接地点相连接。在 TN 系统中，为了表示中性线和保护线的组合关系，有时在 TN 代号后面还附加以下字母：S 为中性线和保护线是分开的；C 为中性线和保护线是合一的。根据中性线 N 与保护线 PE 是否合并的情况，TN 系统又分为 TN-C、TN-S 及 TN-C-S。

TN-S 系统：整个系统的中性线 N 与保护线 PE 是分开的，通常称为三相五线制系统，如图 1-19 所示。

TN-C 系统：整个系统的中性线 N 与保护线 PE 是合一的，即 PEN 线，通常称为三相四线制系统，如图 1-20 所示。

TN-C-S 系统：系统中有一部分线路的中性线与保护线合一，另一部分中性线与保护线是分开的供电系统，如图 1-21 所示。为了防止分开后的 PE 线与 N 线混淆，按国标 GB7947-87 的规定，给 PE 线和 PEN 线涂以黄绿相间的色标，给 N 线涂以浅蓝色色标。

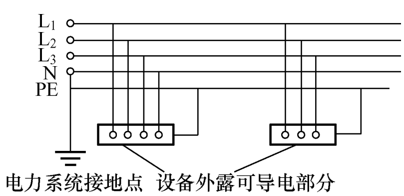


图 1-19　TN-S 系统

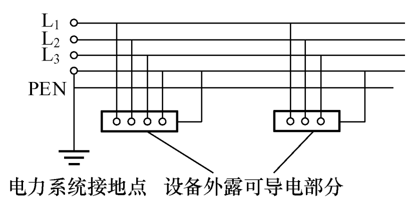


图 1-20　TN-C 系统

提示：PEN 自分开后，分为保护线和中性线，PE 线与 N 线不能再合并。

② TT 系统。电力系统有一点直接接地，电气设备的外露可导电部分通过保护接地线 PE 接至与电力系统接地点无关的接地极，如图 1-22（a）所示。

③ IT 系统。电源与地没有直接联系，负荷侧电气设备的外露可导电部分通过保护接地线 PE 与接地体连接，如图 1-22（b）所示。

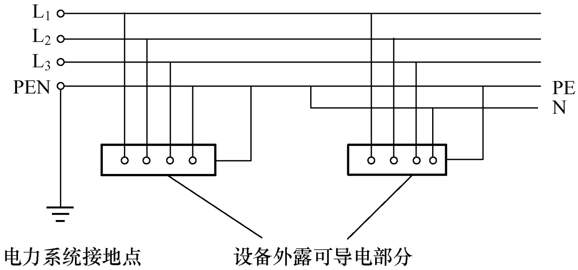


图 1-21　TN-C-S 系统

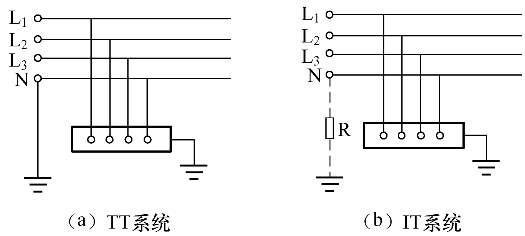


图 1-22　TT 系统与 IT 系统

5. 保护接地、工作接地及接零的范围

（1）接地或接零的范围

电力设备的下列金属部分，除另有规定者外，均应接地或接零。

① 电动机、变压器、低压电器、照明器具、携带式及移动式用电器具的底座或外壳。

② 机电设备的传动装置。

③ 互感器的二次接线。

④ 配电屏与控制屏的框架。

⑤ 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝架构的靠近带电部分的金属围栏和金属门。

⑥ 交、直流电力电缆接线盒，终端的外壳，电缆的外皮和穿线钢管等。

⑦ 在非沥青地面的居住区内，无避雷线接地短路电流架空动力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔。

⑧ 装在配电线路杆上的开关设备、电容器等电力设备。

⑨ 控制电缆的外皮。

（2）免于接地或接零的范围

电力设备的下列金属部分除另有规定者外，可不接地或接零。

① 在木质、沥青等不良导电地面的房间内，交流额定电压 380V 以下，直流额定电压 440V 以下的电力设备外壳，但当维护人员可能同时触及外壳和接地物件时除外。

② 在干燥场所，交流额定电压 127V 以下，直流额定电压 110V 以下的电力设备外壳，但爆炸危险场所除外。

③ 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表，继电器和其他低压电器的外壳，以及当发生绝缘破坏时，在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等。

④ 安装在已接地的金属构架上的设备（应保证电气接触良好）如套管等，但有爆炸危险的场所除外。

⑤ 额定电压 220V 及以下的蓄电池室内支架。

⑥ 与已接地的机床底座之间有可靠接触的电动机和电器外壳，但有爆炸危险的场所除外。

⑦ 安装在不导电的建筑材料且离地面 2.2m 以上人体不能直接触及的电气设备，若要触及时人体已与大地隔绝。

⑧ 采用 1∶1 隔离变压器提供的 220V 或 380V 电源的移动电具。

⑨ 在干燥和不良导电地面（如木板、塑料或沥青）的居民住房或办公室内，所使用的各种日用电具，如电风扇、电烙铁和电熨斗等。

⑩ 电度表和铁壳熔丝盒。

⑪ 由 36V 或 12V 安全电源供电的各种电具的金属外壳。

（3）工作接地的范围

① 变压器、发电机、静电电容器的中性点。

② 电流互感器、避雷针、避雷线、避雷网、保护间隙等。

1.2.6　室内线路

1. 室内配线的基本要求和工序

（1）室内配线的基本要求

室内配线不仅要求安全可靠，而且要求使线路布局合理、整齐、牢固。

（2）室内配线的工序

首先熟悉设计施工图，做好预留、预埋工作（其主要内容有：电源引入方式的预备预埋位置；电源引入配电箱的路径；垂直引上、引下及水平穿越梁、柱、墙等的位置和预埋保护管）。

① 按设计施工图确定灯具、插座、开关、配电箱及电气设备的准确位置，并沿建筑物确定导线敷设的路径。

② 在土建粉刷前，将配线中所有的固定点打好眼孔，将预埋件埋齐，并检查有无遗漏和错位。

③ 装设绝缘支承物、线夹或线管及开关箱、盒。

④ 敷设导线。

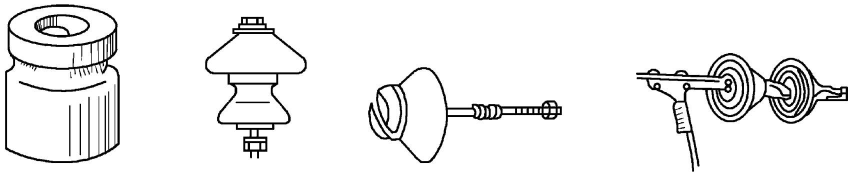
⑤ 连接导线。

⑥ 将导线出线端与电器及设备连接。

⑦ 检验工程是否符合设计和安装工艺要求。

（3）绝缘子外形（如图 1-23 所示）

绝缘子比较高，机械强度大，它适用于用电量较大而又比较潮湿的场合。



（a）鼓形绝缘子　（b）碟形绝缘子　（c）针式绝缘子　（d）悬式绝缘子

图 1-23　绝缘子的外形图

（4）绝缘子配线方法（如图 1-24 所示）

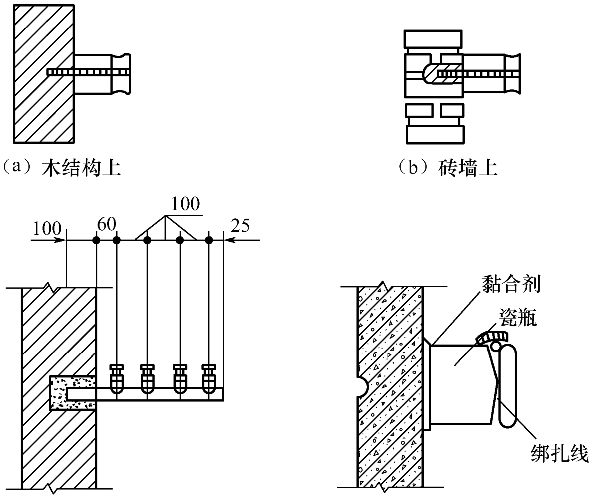
绝缘子配线的要求如下：

① 在建筑物的侧面或斜面配线时，必须将导线绑扎在绝缘子的上方。

② 导线在同一平面内如有曲折时，绝缘子必须装设在导线曲折角的内侧。

③ 导线在不同的平面上曲折时，在凸角的两面上应装设两个绝缘子。

④ 导线分支时，必须在分支点处设置绝缘子，用以支撑导线；导线互相交叉时，应在距建筑物近的导线上套瓷管保护。



（a）木结构上　（b）砖墙上
（c）支架上　（d）环氧树脂固定绝缘子

图 1-24　绝缘子的固定

（5）线管配线的方法

把绝缘导线穿在管内配线称为线管配线。线管配线有明配和暗配两种，明配是把线管敷设在墙上及其他明露处，要配置得横平竖直，要求管距短，弯头小。暗配是将线管置于墙等建筑物内部，线管较长。

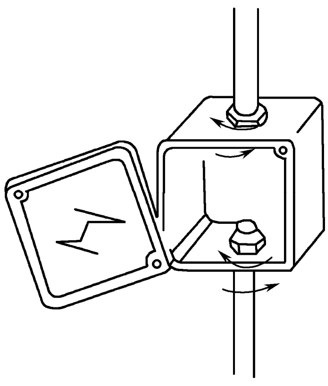
（6）线管配线的要求

① 穿管导线的绝缘强度应不低于 500V；规定导线最小截面，铜芯线为 $1mm^2$，铝芯线为 2.5mm。

② 管内导线不得超过 10 根，不同电压或进入不同电能表的导线不得穿在同一根线管内，但一台电动机内包括控制和信号回路的所有导线及同一台设备的多台电动机线路，允许穿在同一根线管内。

③ 除直流回路导线和接地导线外，不得在钢管内穿单根导线。

④ 线管转弯时，应采用弯曲线管的方法，不宜采用制成品的月亮弯，以免造成管口连接处过多。


图 1-25　线管与接线盒的连接

⑤ 线管线路应尽可能少转角或弯曲，因转角越多，穿线越困难。

⑥ 在混凝土内暗线敷设的线管，必须使用壁厚为 3mm 的电线管。当电线管的外径超过混凝土厚度的 1/3 时，不准将电线管埋在混凝土内，以免影响混凝土的强度。

（7）线管与接线盒的连接（如图 1-25 所示）

2. 照明基础知识

（1）光是电磁波

可见光是波长为 380～780nm 的电磁波。波长大于 780nm 的电磁波是红外线、微波和广播无线电波。波长小于 380nm 的电磁波是紫外线、X-射线和宇宙射线。

（2）波长与颜色

光波的波长不同，人眼感觉到的颜色不同。780nm 的光是红光，380nm 的光是紫光。780～380nm 的光依次是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光。

（3）视觉的形成

光射入人眼落到视网膜上，产生光化学反应，刺激视神经而形成视觉，如图 1-26 所示。

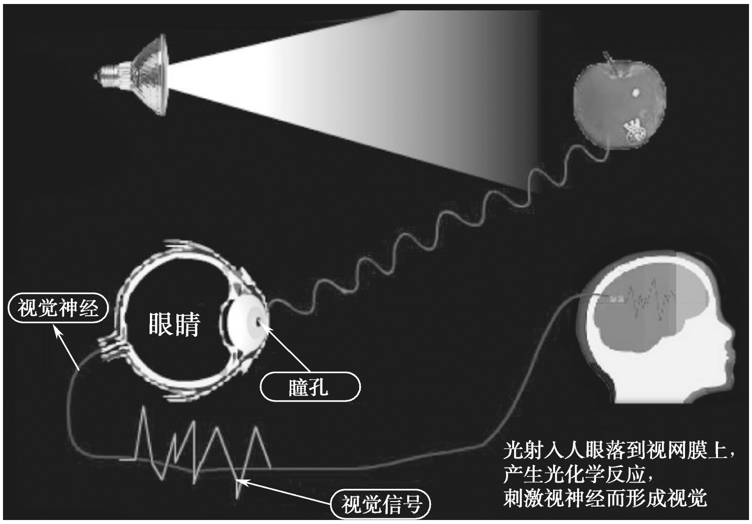


图 1-26　视觉形成

（4）光的基本量

① 光通量（流明 1m），表示光源发出可见光的多少，流明是光通量的单位（发光越多流明数越大）。

② 光源效率（lm/W），表示光源每消耗 1W 电能所能发出的流明数，既光效。光效是衡量光源发光效率高低的重要指标。

③ 照度（勒克斯 Lux），表示工作面上被照明的程度，勒克斯是照度的单位（1 勒克斯等于 1 平方米得到 1 流明光时的照度）。

（5）电灯泡种类

电灯泡有千万种，按发光原理划分可分为固体发光和气体发光两种。

① 固体发光。

白炽灯：电流通过钨丝将其加热至白炽状态而发光。白炽灯泡把大约 6%的电能转变成光，其余 94%的电能转变成热而浪费掉了。白炽灯泡的发展如图 1-27 所示。

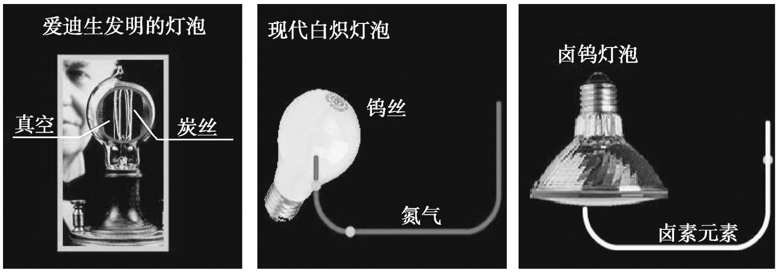


图 1-27　白炽灯泡的发展

卤钨灯泡：白炽灯泡的最新发展。灯泡内加入卤素元素，寿命更长，效率更高。卤钨灯

泡把大约 10%～12%的电能转变成光。

半导体发光：特殊半导体等固体材料的特性，通电后会发出特定的光线。目前应用较多的是 LED（发光二极管）。

② 气体发光。灯泡内的气体放电形成后，气体原子直接发光，或者发出紫外线激发荧光粉再发出可见光。气体放电灯泡的效率远比白炽灯泡高，但是工作时需要镇流器，因此安装成本较高。

直管型荧光灯、紧凑型节能荧光灯属于低强度气体放电灯。高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯和低压钠灯属于高强度气体放电灯（HID）。陶瓷金卤灯是 HID 的最新发展。

3. 常用照明电路的原理

1）照明电路的基本概念

照明电路通常指照明灯具和采用单相电源的电气设备及其开关、电气控制回路的总称。

照明电路通常由以下几部分组成：电能表、断路器、闸刀开关、插座、导线、照明灯具。照明电路的基本构成如图 1-28 所示。

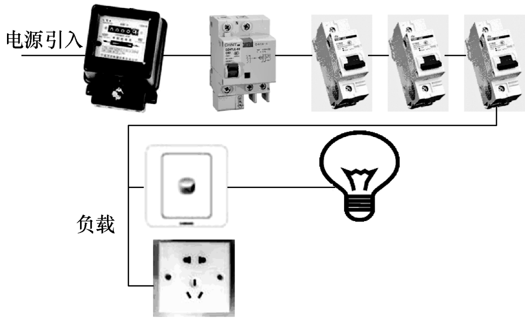


图 1-28 照明电路的基本构成

2）照明方式

① 一般照明是在整个场所或场所的某部分照度基本上相同的照明，适用于工作位置密度很大而对光照方向又无特殊要求，或工艺上不适宜装设局部照明设置的场所。

② 局部照明是指局限于工作部位的固定的或移动的照明，对于局部地点需要高照度并对照射方向有要求时宜采用局部照明。

③ 混合照明是指一般照明与局部照明共同组成的照明，适用于工作部位需要较高照度并对照射方向有特殊要求的场所。混合照明可以在工作平面、垂直和倾斜表面上，甚至工件的内部，获得高的照度，易于改善光色，减少装置功率和节约运行费用。

3）常用照明电路原理

（1）白炽灯照明电路

其工作原理如图 1-29 所示。白炽灯照明电路工作原理很简单，将灯具并联在交流 220V 电源上，灯具直接发光。

（2）荧光灯照明电路

① 荧光灯的构造及作用。荧光灯两端各有一灯丝，灯管内充有微量的氩和稀薄的汞蒸气，灯管内壁上涂有荧光粉，两个灯丝之间的气体在导电时发出紫外线，使荧光粉发出柔和的可见光。

② 荧光灯照明电路工作原理。

荧光灯照明电路的组成如图 1-30 所示。

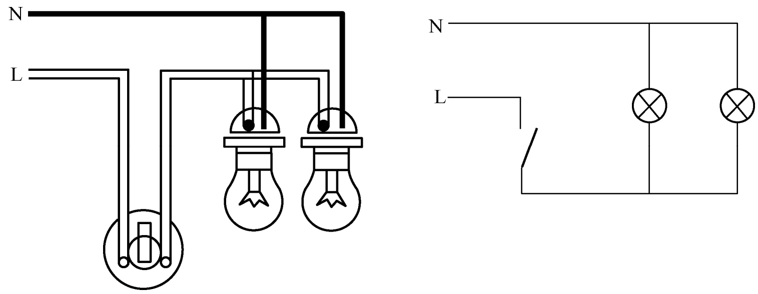


图 1-29　白炽灯照明电路工作原理

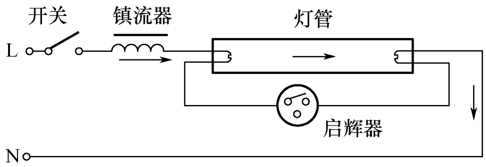


图 1-30　荧光灯照明电路的组成

启辉器的作用：启辉器在电路中起开关作用，它由一个氖气放电管与一个电容并联而成，电容的作用为消除对电源的电磁干扰并与镇流器形成振荡回路，增加启动脉冲电压幅度。放电管中一个电极用双金属片组成，利用氖泡放电加热，使双金属片在开闭时引起电感镇流器电流突变并产生高压脉冲加到灯管两端。

荧光灯工作原理：当荧光灯接入电路以后，启辉器两个电极间开始辉光放电，使双金属片受热膨胀而与静触极接触，于是电源、镇流器、灯丝和启辉器构成一个闭合回路，电流使灯丝预热，当受热时间 1～3s 后，启辉器的两个电极间的辉光放电熄灭，随之双金属片冷却而与静触极断开，当两个电极断开的瞬间，电路中的电流突然消失，于是镇流器产生一个高压脉冲，它与电源叠加后，加到灯管两端，使灯管内的惰性气体电离而引起弧光放电，在正常发光过程中，镇流器的自感还起着稳定电路中电流的作用。

镇流器的三个作用如下：

- 启动过程中，限制预热电流，防止预热电流过大而烧毁灯丝，同时又保证灯丝具有热电发射能力。
- 建立高压脉冲。启辉器两个电极跳开瞬间，在灯管两端就建立了高压脉冲，使灯管点燃。
- 稳定工作电流，保持稳定放电。荧光灯开始发光时，由于交变电流通过镇流器的线圈，线圈中产生自感电动势，它总是阻碍电流变化的，这时镇流器起着降压限流的作用，保证荧光灯正常工作。

4. 照明线路设计

（1）供电电压的选择

一般采用交流 220V，少数情况下采用交流 380V。 对于以下特殊场所，应根据情况选用适当的供电电压。

① 地沟、隧道或安装高度低于地面 2.4m 且有触电危险的房间，采用 36V 或 12V。

② 检修照明也采用 36V 或 12V。

③ 由蓄电池供电时，可根据不同情况分别选用 220V、36V、24V 或 12V。

④ 由仪用电压互感器供电时，可采用 100V。

（2）照明线路形式

照明线路一般由馈电线、总照明配电箱、干线、照明分配电箱、支线和用电设备（灯具插座）组成，如图 1-31 所示。

① 一般工作照明。一般工作场所的照明负荷可与动力负荷共用变压器。在“变压器—干线”系统中，当无低压联络线时，照明电源宜接于变压器低压侧总开关前面，如图 1-32 所示；当有低压联络线时，照明电源宜接于总开关后面。

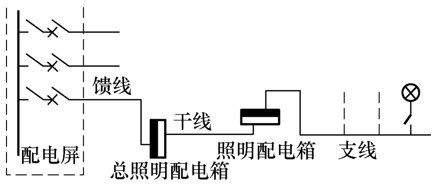


图 1-31　照明线路基本形式

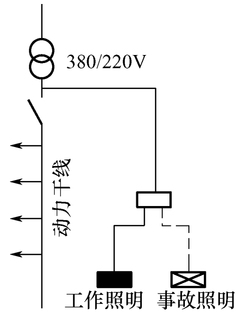


图 1-32　一般工作照明线路

② 重要工作照明。重要场所照明要求由两个独立电源供电。这两个独立电源可以来自不同变电所，也可以来自一个变电所的两台变压器，这两台变压器必须相互独立。

③ 事故照明。事故照明应区别于正常的工作照明，由独立的备用电源供电。

当装有两台以上变压器时，事故电源应与正常工作照明分别接于不同的变压器，如图 1-33 所示。

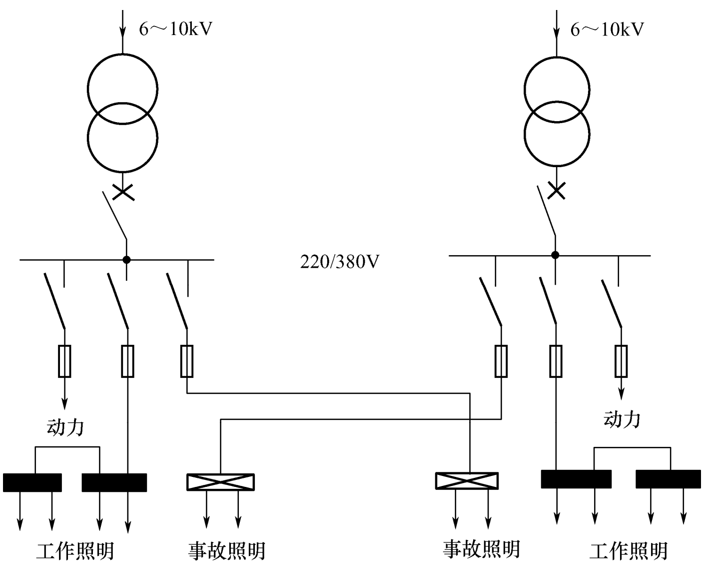


图 1-33　事故照明线路

④ 局部照明。机床和固定工作台都带有动力线路，局部照明可与之共用电源。移动式局部照明应从照明配电箱或动力配电箱的专用回路上引出独立的分支线路供电。

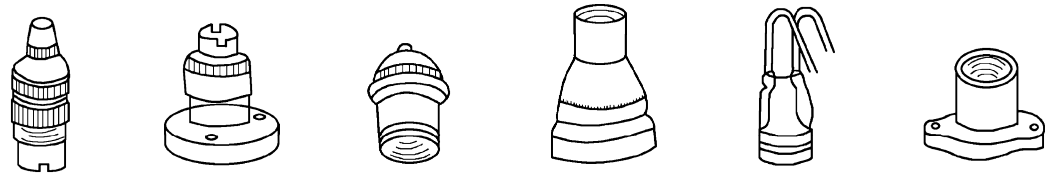
⑤ 室外照明。室外照明负荷应与室内照明负荷分开供电，道路照明、警卫照明应接至变电所低压配电屏的专用回路。但当露天工作场地距离车间很近且容量不大时，也可由室内照明配电箱分出专用回路供电，并单独控制。

5. 常用照明灯具的安装与维修

白炽灯和荧光灯是最常用的灯，前者可以使用在各种场所；后者广泛用于家居、办公室、会议和商店等场所。下面分别介绍它们的安装与维修。

（1）白炽灯的安装与维修

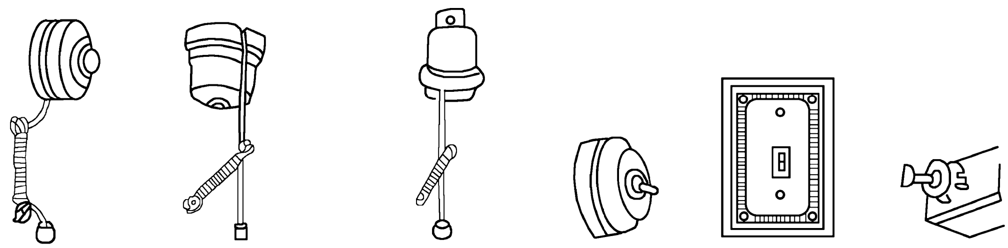
① 常用灯座如图 1-34 所示。



（a）插口吊灯座　（b）插口平灯座　（c）螺口吊灯座　（d）螺口平灯座　（e）防水螺口吊灯泡　（f）防水螺口平灯座

图 1-34　常用灯座

② 常用开关如图 1-35 所示。



（a）拉线开关　（b）顶装式拉线开关　（c）防水式拉线开关　（d）平开关　（e）暗装开关　（f）台灯开关

图 1-35　常用开关

③ 白炽灯照明线路的安装如图 1-36、图 1-37 所示。

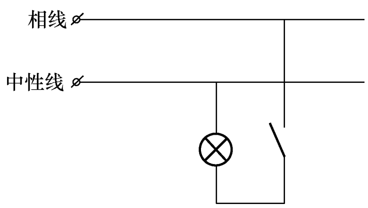


图 1-36　单联开关控制白炽灯接线原理图

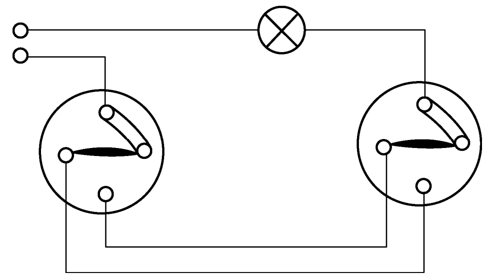


图 1-37　双联开关控制白炽灯接线原理图

④ 螺口灯座的安装如图 1-38 所示。

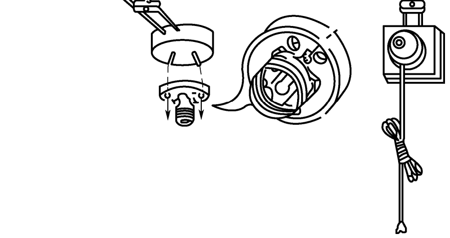
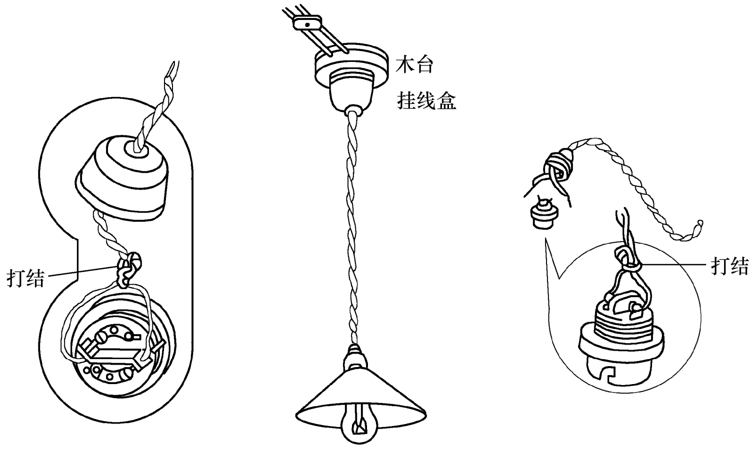


图 1-38　螺口灯座安装

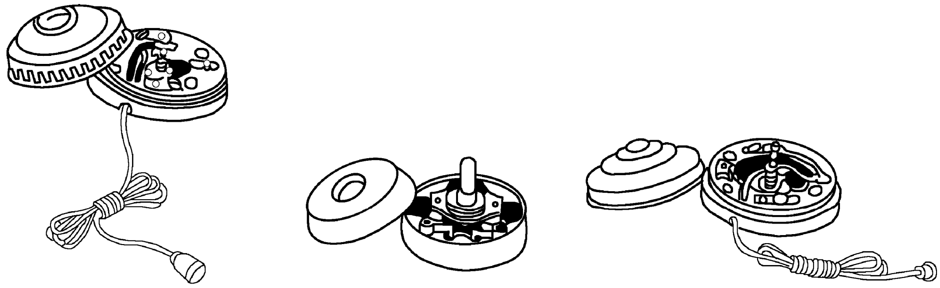
⑤ 吊灯灯座的安装如图 1-39 所示。



（a）挂线盒安装　　（b）装成的吊灯　　（c）灯座安装

图 1-39　避免线芯承受吊灯重量的方法

⑥ 开关的安装如图 1-40、图 1-41 所示。



（a）拉线式单联开关　　（b）平式单联开关　　（c）拉线式双联开关

图 1-40　电灯开关内部接线端子

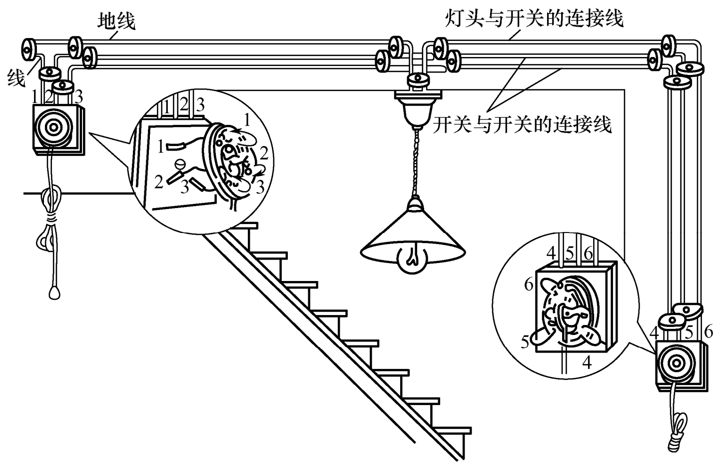


图 1-41　双联开关安装方法

（2）荧光灯的安装与维修

① 荧光灯的结构与布线如图 1-42 所示。

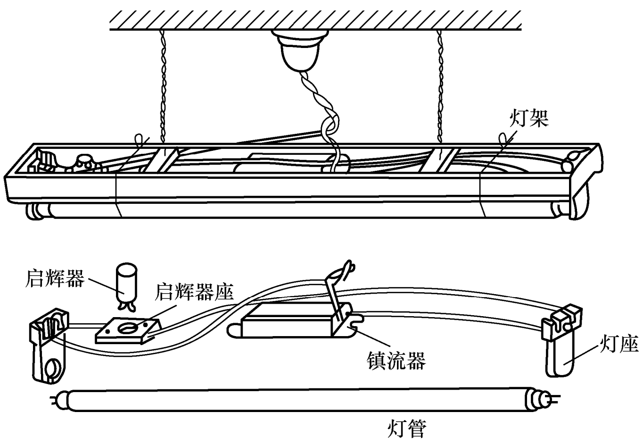


图 1-42　荧光灯的结构与布线

② 荧光灯电路原理图如图 1-43 所示。

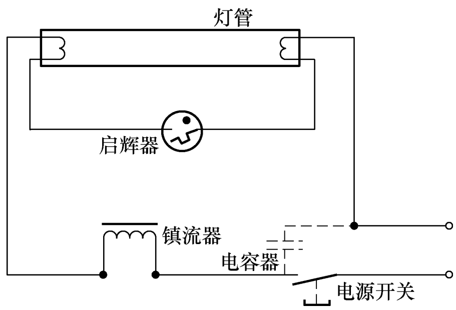
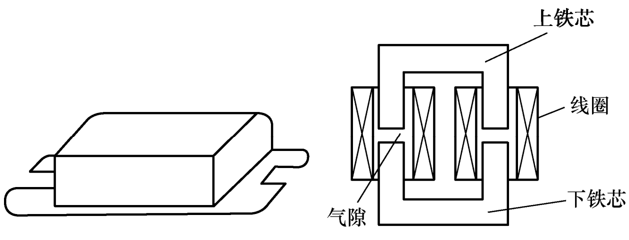


图 1-43　荧光灯电路原理图

③ 荧光灯镇流器如图 1-44 所示。

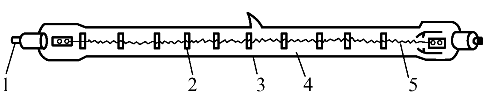


（a）外形　　（b）结构

图 1-44　荧光灯镇流器

（3）碘钨灯与高压灯的安装与维修

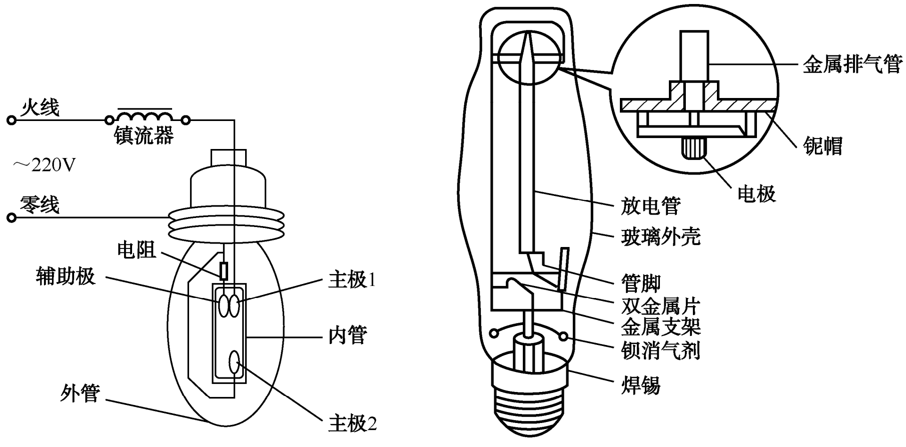
碘钨灯的安装如图 1-45 所示。



1—灯丝电源触点；2—灯丝支持架；3—石英管；4—碘蒸气；5—灯丝

图 1-45　碘钨灯的安装

如图 1-46（a）所示为高压汞灯，如图 1-46（b）所示为高压钠灯。



（a）高压汞灯　（b）高压钠灯

图 1-46　高压汞灯和高压钠灯

如图 1-47 所示为高压汞灯接线图，如图 1-48 所示为高压钠灯启动原理。

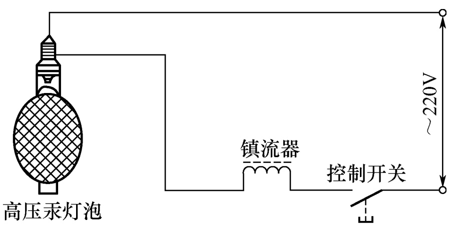


图 1-47　高压汞灯接线图

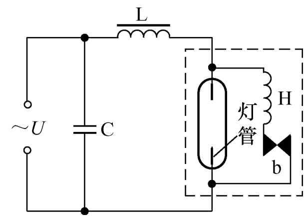


图 1-48　高压钠灯启动原理

1.3　技能训练：室内照明线路设计与安装

1. 训练目的

① 熟识室内照明线路设计及各组件选择。
② 掌握安装工艺。
工具器材：
普通灯泡、灯座若干，导线、插座若干，螺钉；尖嘴钳；电钻；螺丝刀。

2. 训练步骤及内容

① 按设计图连接线路。
② 检查线路并通电试验。
③ 完成时间为 6 学时。
④ 画出接线原理电路附在后面。

3. 具体评价方式及标准

电工基本技能评价表

项 目 内 容	分　值	评 分 标 准	成　绩	备　注
工具使用	10 分	选择工具出错 1 次扣 2 分 使用工具出错 1 次扣 2 分 摆放工具出错 1 次扣 1 分		
线头处理	10 分	处理线头错误 1 次扣 2 分		
软线连接	30 分	剥线不合格扣 2 分 连接方法错误扣 5 分 连接后抗拉强度不够扣 5 分 绝缘恢复不合格扣 5 分		
硬线连接	30 分	剥线不合格扣 2 分 连接方法错误扣 5 分 连接后抗拉强度不够扣 5 分 绝缘恢复不合格扣 5 分		
线号标识	10 分	使用线号错误 1 次扣 2 分		
安全文明生产	10 分	违反安全、文明生产扣 5～10 分		
合　计				

照明线路安装评价表

项 目 内 容	分　值	评 分 标 准	成　绩	备　注
安装元件	30 分	不按图安装扣 20 分 元件安装不牢固，每处扣 5 分 元件安装不整齐、不匀称、不合理，每处扣 4 分 损坏元件扣 20 分		
接线工艺	30 分	不按原理图接线扣 20 分 错、漏、多接线一处扣 5 分 按钮引出线多一根扣 5 分 按钮开关颜色错误扣 5 分 接点不符合要求，每个点扣 2 分 损伤导线绝缘或线芯，每处扣 4 分 导线使用错误，每根扣 3 分 配线不美观、不整齐、不合理，每处扣 2 分 漏接接地线扣 10 分		
通电试车	20 分	第一次通电试车不成功扣 15 分 第二次不成功扣 30 分		
安全文明生产	10 分	违反安全、文明生产扣 5～10 分		
工程进度	10 分	按照规定时间，每超过 10 分钟扣 5 分		
合　计				

习　题　1

1．填用电力电缆第一种工作票的工作应（　　）许可。

A．经调度　　B．不经调度　　C．运行人员

2．爆炸压接时，爆炸点距绝缘子之间的距离应大于（　　）。

A．0.6m　　B．0.8m　　C．1.0m

3．倒闸操作应由（　　）人进行。

A．1　　B．2　　C．3

4. 对于无接地引下线的杆塔，可采用临时接地体。接地体在地面下深度不得小于（　　）。

A．1m　　B．0.8m　　C．0.6m

5．偏僻山区和夜间巡线应由（　　）人进行。

A．1　　B．2　　C．3

6．作业人员对《电业安全工作规程》（电力线路部分）应（　　）年考试一次。

A．1　　B．2　　C．3

7．配电设备停电检修时，应使用（　　）。

A．电力线路第二种工作票

B．电力线路第一种工作票

C．低压工作票

8．电力线路工作人员因故间断电气工作连续（　　）个月以上者，应重新学习《电业安全工作规程》，并经考试合格后方能恢复工作。

A．3　　B．6　　C．12

9．一个工作负责人员只能发给（　　）张工作票。

A．1　　B．2　　C．3

10．已执行的工作票由供电所保存，保存期为（　　）个月。

A．3　　B．6　　C．12

11．安全措施的设置与设备的停送电操作应由（　　）人进行。

A．1　　B．2　　C．3

12．在巡视检查中，发现有威胁人身安全的缺陷时，应采取（　　）或其他临时性安全措施。

A．报告领导　　B．全部停电　　C．全部停电、部分停电

13．工作监护人由工作负责人担任，当施工现场用一张工作票分组到不同的地点工作时，各小组监护人可由（　　）指定。

A．工作许可人　　B．工作票签发人　　C．工作负责人

14．工作负责人未接到工作许可人许可工作的命令前，（　　）。

A．可以工作　　B．严禁工作　　C．可以干些适当工作

15．操作时如发现疑问或发生异常故障，均应（　　）。

A．继续操作　　B．停止操作　　C．请示领导再处理

16．工作票要用钢笔或圆珠笔填写一式（　　）份。

A．二　　B．三　　C．四

17．工作中，（　　）增加工作票内没有填写的内容。

A．不允许　　B．允许　　C．可以适当

18．对大型或较复杂的工作，（　　）填写工作票前应到现场勘查，根据实际情况制定安全、技术及组织措施。

A．工作票签发人　　B．工作负责人　　C．工作许可人

19．电气工作人员中断电气工作连续（　　）个月以上者，必须重新学习本规程，经考试合格后方能恢复工作。

A．3　　B．6　　C．12

20．工作期间（　　）必须始终在工作现场，对工作人员的工作进行认真监护，及时纠正违反安全的行为。

A．工作票签发人　　B．工作监护人　　C．工作许可人

21．国际规定，电压（　　）以下不必考虑防止电击的危险。

A．36V　　B．65V　　C．25V

22．三线电缆中的红线代表（　　）。

A．零线　　B．火线　　C．地线

23．停电检修时，在一经合闸即可送电到工作地点的开关或刀闸的操作把手上，应悬挂如下哪种标示牌？（　　）

A．在此工作　　B．止步，高压危险　　C．禁止合闸，有人工作

24．触电事故中，绝大部分是（　　）导致人身伤亡的。

A．人体接受电流遭到电击

B．烧伤

C．电休克

25．如果触电者伤势严重，呼吸停止或心脏停止跳动，应竭力施行（　　）和胸外心脏按压。

A．按摩　　B．点穴　　C．人工呼吸

26．电器着火时下列不能用的灭火方法是哪种？（　　）

A．用四氯化碳或 1211 灭火器进行灭火

B．用沙土灭火

C．用水灭火

27．静电电压最高可达（　　），可现场放电，产生静电火花，引起火灾。

A．50V　　B．数万伏　　C．220V

28．漏电保护器的使用是防止（　　）。

A．触电事故　　B．电压波动　　C．电荷超负荷

29．长期在高频电磁场作用下，操作者会有什么不良反应？（　　）

A．呼吸困难　　B．精神失常　　C．疲劳无力

30．下列哪种灭火器适于扑灭电气火灾？（　　）

A．二氧化碳灭火器　　B．干粉灭火器　　C．泡沫灭火器

31．金属梯子不适于以下什么工作场所？（　　）

A．有触电机会的工作场所

B．坑穴或密闭场所

C．高空作业

32．在遇到高压电线断落地面时，导线断落点（　　）米内，禁止人员进入。

A．10　　B．20　　C．30

33．使用手持电动工具时，下列注意事项哪个正确？（　　）

A．使用万能插座　　B．使用漏电保护器　　C．身体或衣服潮湿

34．发生触电事故的危险电压一般是从（　　）开始。

A．24V　　B．26V　　C．65V

35．使用电气设备时，由于维护不及时，当（　　）进入时，可导致短路事故。

A．导电粉尘或纤维　　B．强光辐射　　C．热气

36．工厂内各固定电线插座损坏时，将会引起（　　）。

A．引起工作不方便　　B．不美观　　C．触电伤害

37．民用照明电路电压是以下哪种？（　　）

A．直流电压 220V　　B．交流电压 280V　　C．交流电压 220V

38．检修高压电动机时，下列哪种行为错误？（　　）

A．先实施停电安全措施，再在高压电动机及其附属装置的回路上进行检修工作。

B．检修工作终结，需通电实验高压电动机及其启动装置时，先让全部工作人员撤离现场，再送电试运转。

C．在运行的高压电动机的接地线上进行检修工作。

39．下列有关使用漏电保护器的说法，哪种正确？（　　）

A．漏电保护器既可用来保护人身安全，还可用来对低压系统或设备的对地绝缘状况起到监督作用。

B．漏电保护器安装点以后的线路不可对地绝缘。

C．漏电保护器在日常使用中不可在通电状态下按动实验按钮来检验其是否灵敏可靠。

40．装用漏电保护器，是属于哪种安全技术措施？（　　）

A．基本保安措施　　B．辅助保安措施　　C．绝对保安措施

41．人体在电磁场作用下，由于（　　）将使人体受到不同程度的伤害

A．电流　　B．电压　　C．电磁波辐射

42．如果工作场所潮湿，为避免触电，使用手持电动工具的人应（　　）。

A．站在铁板上操作

B．站在绝缘胶板上操作

C．穿防静电鞋操作

43．雷电放电具有（　　）的特点。

A．电流大，电压高　　B．电流小，电压高　　C．电流大，电压低

44．车间内的明、暗插座距地面的高度一般不低于（　　）。

A．0.3m　　B．0.2m　　C．0.1m

45．扑救电气设备火灾时，不能用什么灭火器？（　　）

A．四氯化碳灭火器　　B．二氧化碳灭火器　　C．泡沫灭火器

46．任何电气设备在未验明无电之前，一律认为（　　）。

A．无电　　B．也许有电　　C．有电

47．使用的电气设备按有关安全规程，其外壳应有什么防护措施？（　　）

A．无
B．保护性接零或接地
C．防锈漆
48．在进行电子底板贴焊、剪脚等工序时应（　　）。
A．戴上防护眼镜　　B．戴上护耳器　　C．戴上安全帽
49．农村公用配电变压器应按（　　）的原则进行建设与改造。
A．“容量适中、布局合理、发展长远”
B．“小容量、密布点、短半径”
C．“位置合理、俭省节约、服务方便、利于管理”
50．安装在室外的落地配电变压器，四周应设置安全围栏，围栏高度不低于（　　）。
A．3m　　B．2.5m　　C．1.5m　　D．1.8m
51．安装在室外的落地配电变压器，四周应设置安全围栏，围栏各侧悬挂（　　）的警告牌。
A．“止步，危险”　　B．“有电请注意”
C．“有电危险，严禁入内”　　D．“危险，禁止入内”
52．用户电工应熟练掌握（　　）。
A．操作触电　　B．人身触电紧急救护法
C．业务　　D．电工知识
53．油浸式变压器运行中的顶层油温不得高于（　　）℃，温升不得超过 55K。
A．80　　B．75　　C．95　　D．100
54．对于连接组别为 Yyn0 的配电变压器，中性线电流不应超过低压侧额定电流的（　　）。
A．40%　　B．30%　　C．35%　　D．25%
55．低压电力网的布局应与农村发展规划相结合，供电半径一般不大于（　　）m。
A．400　　B．1000　　C．600　　D．500
56．城镇、电力用户保护接地方式宜采用（　　）系统。
A．TN-C　　B．TT　　C．IT
57．采用 TN-C 系统时，为了保证在故障时保护中性线的电位尽可能保持接近大地电位，保护中性线（　　）。
A．应均匀分配重复接地　　B．严禁重复接地
C．也可重复接地　　D．不宜接地
58．室外配电箱应牢固地安装在支架或基础上，箱底距地面高度不低于（　　）m，并采取防止攀登的措施。
A．1.8　　B．2.0　　C．1.5　　D．1.0
59．室内配电箱明装于墙壁时，底部距地面（　　）m。
A．1.5　　B．2.0　　C．1.0　　D．1.2
60．成排布置的配电屏其长度超过（　　）m 时，屏后通道应设两个出口，并宜布置在通道的两端。
A．8　　B．10　　C．6　　D．5
61．配电屏内二次回路的配线电流回路截面不小于（　　）mm^2 的铜芯绝缘导线。

A．4　　B．2.5　　C．1.5

62．控制开关应垂直安装，并且（　　）。

A．上端接负荷，下端接电源　　B．上端接电源，下端接负荷。

63．母线应按下列规定涂漆相色，保护中性线为（　　）。

A．黄和绿双色　　B．黄和红双色　　C．红和绿双色。

64．母线垂直排列时 U、V、W 的排列顺序为（　　）。

A．上、中、下　　B．下、中、上　　C．未作要求

65．硬母线弯曲时，母线开始弯曲处距母线连接位置不应小于（　　）mm。

A．50　　B．25　　C．75

66．矩形母线的弯曲、扭转宜采用冷弯，如需热弯时，加热温度不应超过（　　）℃。

A．250　　B．300　　C．100

67．配电室（箱）进、出线的控制电器和保护电器的（　　）、频率应与系统电压、频率相符，并应满足使用环境的要求。

A．额定电压　　B．参比电压　　C．标定电压

68．配电室（箱）的进线控制电器按变压器额定电流的（　　）倍选择。

A．1.3　　B．1.5　　C．1.2

69．国家规定的安全色有红、蓝、黄、绿 4 种颜色，其中红色表示（　　）。

A．禁止、停止　　B．指令、必须遵守的规定

C．警告、注意　　D．指示、安全状态、通行

70．在操作移动式起重设备时，吊车不准在架空线下面操作，工作时其最大摆幅距侧面 10kV 架空至少（　　）m。

A．0.5　　B．1.5　　C．2　　D．4

项目 2 C616 车床电气控制线路装调（测绘）

2.1 学习任务及要求

1. 控制对象说明

C616 车床用交流异步电动机主电机功率 4kW、冷却泵电动机功率 0.125kW 380V 三相电源。

2. 培训内容

（1）了解以下国家/行业相关规范与标准

①《盘、柜及二次回路结线施工及验收规范》GB 50171—92。

②《电气设备安全设计导则》GB 4064-83。

③《国家电气设备安全技术规范》GB 19517-2004。

④《机械安全机械电气设备：通用技术条件》GB 5226.1-2002。

⑤《用电安全导则》GBT 13869-92。

⑥《低压配电设计规范》GB 50054－95。

⑦《企业电气控制柜元件安装接线配线的规范》。

（2）认识低压电器，熟悉常用低压电器工作原理与结构

① 认识常用低压电器，熟悉工作原理、结构及主要参数。

② 熟悉组合开关、低压断路器、接触器、继电器（热继电器）、熔断器、按钮、行程开关等元件外部端子与接线方法。

（3）学会对低压电器进行检验，熟悉工厂器件领用流程及相关制度，学习规范编写技术文件

① 学会使用常用仪表对常用电气元件进行检验。

② 熟悉工厂器件领用流程及相关制度，并编写技术文件。

（4）熟悉电动机点动、长动和正反转控制线路原理

① 机床主轴电动机启停（点动、长动）控制典型环节分析。

② 机床主轴电动机正、反转控制典型环节分析。

（5）认识 C616 普通车床

① 了解普通车床结构。

② 熟悉普通车床各运动。

（6） 根据原理图进行 C616 普通车床控制线路装配

① 按照《盘、柜及二次回路结线施工及验收规范》GB50171—92 进行元件安装与布线。

② 初步进行线路调试。

3. 控制要求

（1）实现电机的启动、停止控制

由于电机的功率较小，只要求电机直接启动；电机停止时，不要求对其进行制动，由其自由停止。

（2）实现电机的点长动控制

4. 学时要求

在 18 个学时之内完成整个培训。

5. 需准备的资料

① 低压电器方面的资料。

②《维修电工实训教程》。

③ 普通机床方面的资料。

6. 预习要求

① 阅读各种电器使用手册。

② 阅读机床说明书。

③ 阅读技术文档编写规范。

7. 重点或难点

① 低压电器工作原理及作用。

② 典型控制环节原理。

③ 电气控制柜元件安装接线配线和调试的规范。

④ 安全规范。

8. 学习方法建议

① 收集需准备的资料。

② 预习基础知识。

③ 配线先仿照企业产品试做。

④ 工艺要求实现的途径：教师讲解、企业样品观察、工艺文件阅读、观看技能培训录像等。

⑤ 安全贯穿过程始终，及时学习与总结。

2.2　知识链接

2.2.1　常用电工工具介绍

常用电工工具是指一般专业电工经常使用的工具。对电气操作人员而言，掌握电工工具的结构、性能、使用方法和操作，将直接影响工作效率和工作质量及人身安全。

1. 验电笔

（1）验电笔的结构

维修电工使用的低压验电笔又称测电笔（简称电笔），是检验导线、电器是否带电的一种常用工具。检测范围为 50～500V，有钢笔式和螺钉旋具式两种，它们由氖管、电阻、弹簧和笔身等组成，如图 2-1 所示。

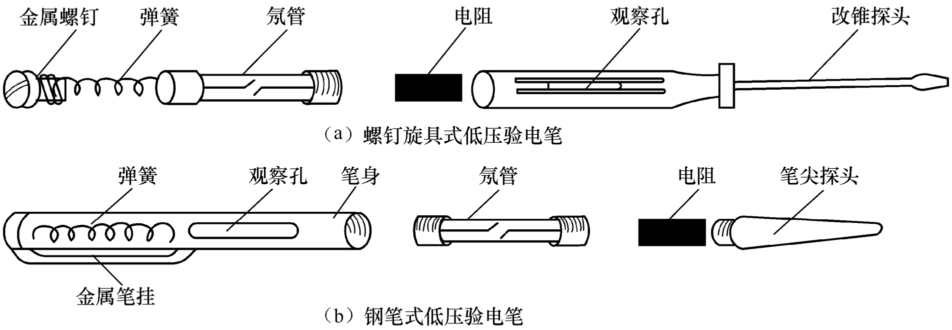


图 2-1　验电笔

使用低压验电笔时，必须按照图 2-2 所示的握法操作。以手指触及笔尾的金属体，使氖管小窗背光朝向自己。

电笔测试带电体时，电流经带电体、电笔、人体到大地形成通电回路，只要带电体与大地之间的电位差超过 60V 时，电笔中的氖管就发光。

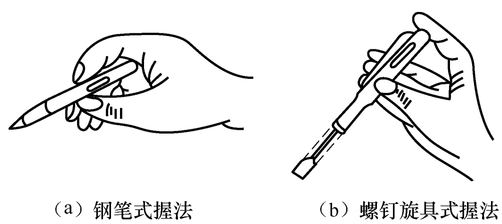


图 2-2　低压验电笔的握法

提示：低压验电笔检测电压的范围为 60～500V。由于验电笔的降压电阻的阻值很大，因此，验电时流过人体的电流很微弱，属于安全电流，不会对使用者构成危险。

（2）功能及使用

低压验电笔还有如下几个用途：

① 在 220/380V 三相四线制系统中，可检查系统故障或三相负荷不平衡。不管是相间短路、单相接地、相线断线、三相负荷不平衡，中性线上均出现电压，若验电笔灯亮，则证明系统故障或负荷严重不平衡。

② 检查相线接地。在三相三线制系统（Y 接线）中，用验电笔分别触及三相时，发现氖灯二相较亮，一相较暗，表明灯光暗的一相有接地现象。

③ 用以检查设备外壳漏电。当电气设备的外壳（如电动机、变压器）有漏电现象时，则验电笔氖灯发亮；如果外壳原是接地的，氖灯发亮则表明接地保护断线或有其他故障（接地良好时氖灯不亮）。

④ 用以检查电路接触不良。当发现氖灯闪烁时，表明回路接头接触不良或松动，或者是两个不同电气系统相互干扰。

⑤ 用以区分直流、交流及直流电的正、负极。验电笔通过交流电时，氖灯的两个电极同时发亮。验电笔通过直流电时，氖灯的两个电极中只有一个发亮。这是因为交流正、负极交变，而直流正、负极不变形成的。把验电笔连接在直流电的正、负极之间，氖灯亮的那端为负极。人站在地上，用验电笔触及正极或负极，氖灯不亮，证明直流不接地；否则，直流接地。

（3）使用注意事项

在使用中要防止金属体笔尖触及皮肤，以避免触电，同时也要防止金属体笔尖处引起短路事故。验电笔只能用于 380/220V 系统。验电笔使用前须在有电设备上验证其是否良好。

2. 钢丝钳

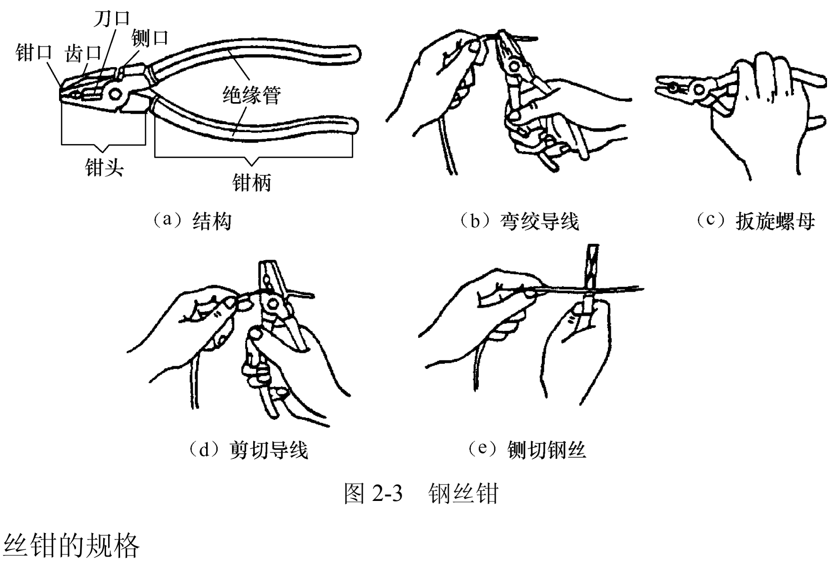
钢丝钳又称老虎钳，是电工应用最频繁的工具。

（1）钢丝钳的结构

钢丝钳包括钳头和钳柄及钳柄绝缘柄套，绝缘柄套的耐压为 500V。钳头包括钳口、齿口、刀口、铡口 4 部分，其结构如图 2-3（a）所示。

（2）钢丝钳的功能

钳口用来弯绞或钳夹导线线头，齿口可代替扳手用来固紧或起松螺母，刀口用来剪切导线、掀起铁钉或剖切导线绝缘层，铡口用来剪切电线芯线和钢丝等较硬金属线，如图 2-3（b）、（c）、（d）、（e）所示。



（a）结构　（b）弯绞导线　（c）扳旋螺母

（d）剪切导线　（e）铡切钢丝

图 2-3　钢丝钳

（3）钢丝钳的规格

以钳身长度计有 160mm、180mm、200mm 三种规格。

钢丝钳质量检验：绝缘胶套外观良好；无破损，整体外观良好；目测钳口密合不透光；钳柄绕垂直导线大面积范围转动灵活，但不能沿垂直钳身方向运动者为佳。

（4）使用注意事项

① 钢丝钳使用前应检查绝缘柄套是否完好，绝缘柄套破损的钢丝钳不能使用。

② 用以切断导线时，必须单根进行，不能将相线和中性线或不同相的相线同时在一个钳口处切断，以免发生事故;不能将钢丝钳当榔头和撬杠使用;爱护绝缘柄套。

③ 使用钢丝钳时要刀口朝向内侧，便于控制剪切部位。

④ 不能用钳头代替手锤作为敲打工具，以免变形。钳头的轴销应经常加机油润滑，保证其开闭灵活。

3. 尖嘴钳

（1）尖嘴钳的结构

尖嘴钳有钳头和钳柄及钳柄上耐压为 500V 的绝缘套等部分。其外形如图 2-4 所示。

（2）尖嘴钳的功能

尖嘴头部细长成圆锥形，接近端部的钳口上有一段棱形齿纹，由于它的头部尖而长，因而适应在较窄小的工作环境中夹持轻巧的工件或线材，或者剪切、弯曲细导线。

（3）尖嘴钳的规格

根据钳头的长度尖嘴钳可分为短钳头（钳头为钳子全长的 1/5）和长钳头（钳头为钳子全长的 2/5）两种。规格以钳身长度计有 125mm、140mm、160mm、180mm、200mm 5 种。

4. 斜口钳

斜口钳又称断线钳，其头部扁斜。其外形如图 2-5 所示。

（1）斜口钳的结构

斜口钳有钳头、钳柄和钳柄上耐压为 1000V 的绝缘套等部分，其特点是剪切口与钳柄成一定角度。质量检验与钢丝钳相似。

（2）斜口钳的功能

斜口钳用以剪断较粗的导线和其他金属丝，还可直接剪断低压带电导线。在工作场所比较狭窄的地方和设备内部，用以剪切薄金属片、细金属丝；或者剖切导线绝缘层。

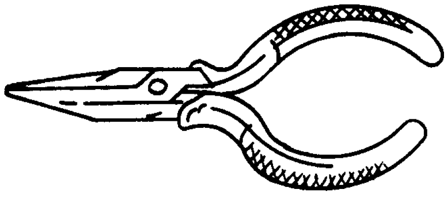


图 2-4　尖嘴钳

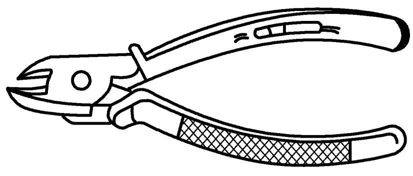


图 2-5　斜口钳

（3）斜口钳的规格

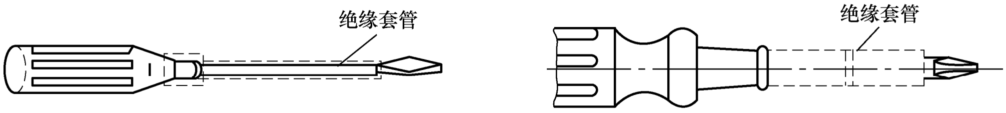
斜口钳常用规格有 125mm、140mm、160mm、180mm、200mm 5 种。

5. 螺钉旋具

螺钉旋具又称螺丝刀、起子，是用来紧固或拆卸带槽螺钉的常用工具。

（1）螺钉旋具的结构

螺钉旋具由金属杆头和绝缘柄组成。按金属杆头部分的形状（又称刀品形状），分为十字起子（螺丝刀、批等）、一字起子和多用起子。其外形如图 2-6 所示。



（a）平口螺钉旋具　　（b）十字口螺钉旋具

图 2-6　螺钉旋具

（2）螺钉旋具的功能

螺钉旋具是用来旋动头部带一字形或十字形槽的螺钉的手用工具。使用时，应按螺钉的规格选用合适的旋具刀口。任何“以大代小，以小代大”使用旋具均会损坏螺钉或电气元件。电工不可使用金属杆直通柄根的旋具，必须使用带有绝缘柄的旋具。为了避免金属杆触及皮肤及邻近带电体，宜在金属杆上穿套绝缘管。

（3）螺钉旋具的规格

以其在绝缘柄外金属杆的长度和刀口尺寸计有：50×3（5）mm、65×3（5）mm、75×4（5）mm、100×4mm、100×6mm、100×7mm、125×7mm、125×8mm、125×9mm、150×7（8）mm 几种规格。

另外，还有一种组合式螺钉旋具，它配有多种规格的一字头和十字头，可以方便更换，具有较强的灵活性，适合紧固和拆卸多种不同的螺钉。

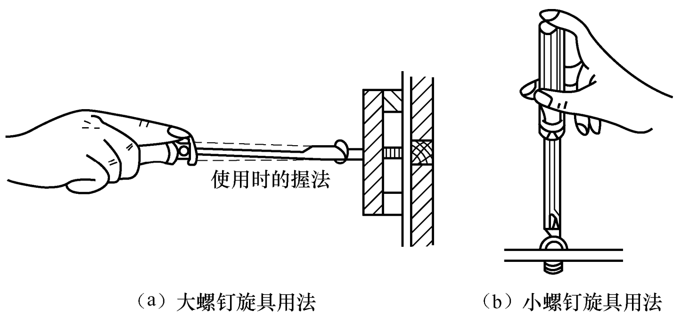
（4）使用注意事项

① 使用时应选择带绝缘手柄的螺钉旋具。

② 严禁用小螺钉旋具去拧大螺钉。

③ 不得将其当凿子或撬杠使用。

④ 螺钉旋具使用方法如图 2-7 所示。



（a）大螺钉旋具用法　　（b）小螺钉旋具用法

图 2-7　螺钉旋具的使用

6. 剥线钳

（1）剥线钳的结构

剥线钳由钳头和手柄两部分组成，钳头由压线口和切口组成，分有直径为 0.5～3mm 的多个切口，以适应不同规格芯线的剥、削。其外形如图 2-8 所示。

（2）剥线钳的功能

剥线钳是电工专用的剥离导线头部一段表面绝缘层的工具。使用时切口大小应略大于导线芯线直径，否则会切断芯线。它的特点是使用方便，剥离绝缘层不伤线芯，适用芯线横截面积为 $6mm^2$ 以下的绝缘导线。

（3）剥线钳的规格

剥线钳常用规格有 140mm、180mm 两种。

（4）使用注意事项

不允许带电剥线。

7. 电工刀

（1） 电工刀的结构

电工刀也是电工常用的工具之一，是一种切削工具，其外形如图 2-9 所示，由刀身和刀柄两部分组成。

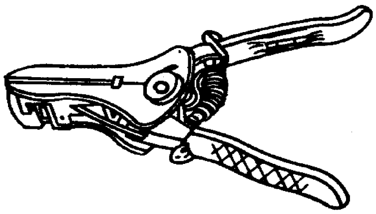


图 2-8　剥线钳

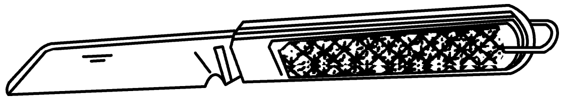


图 2-9　电工刀

（2）电工刀的功能

电工刀主要用于剥、削导线绝缘层，剥、削木榫等。有的多用电工刀还带有手锯和尖锥，用于电工材料的切割。

（3）电工刀的规格

电工刀有一用、两用、多用之分，常见规格为： 1 号刀柄长 115mm，2 号刀柄长 105mm，3 号刀柄长 95mm。电工刀的用途是割、削 $6mm^2$ 以上电线的绝缘层、棉纱绝缘索等。

（4）使用注意事项

使用时应刀口朝外，以免伤手。用毕，随即把刀身折入刀柄。因为电工刀柄不带绝缘装置，所以不能带电操作，以免触电。

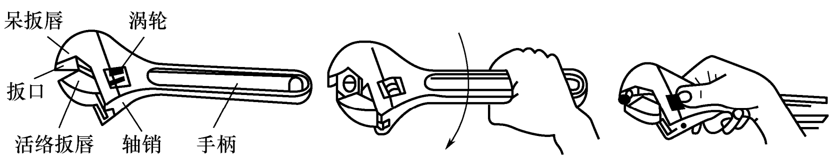
8. 活络扳手

（1）活络扳手的构造

活络扳手由头部和柄部组成，头部由活络扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等构成，旋动蜗轮可调节扳口的大小。

（2）活络扳手的规格

规格用长度×最大开口宽度（单位 mm）来表示，电工常用的活络扳手有 150×19（6 英寸）、200×24（8 英寸）、250×30（10 英寸）和 300×36（12 英寸）4 种，外形如图 2-10 所示。



（a）活络扳手　（b）扳较大螺母时的握法　（c）扳较小螺母时的握法

图 2-10　活络扳手

（3）活络扳手的使用方法

① 扳动大螺母时，需用较大力矩，手应握在接近柄尾处。

② 扳动较小螺母时需用力矩不大，但螺母过小易打滑，故手应握在接近头部的地方，这样可随时调节蜗轮，收紧活络扳唇，防止打滑。

③ 活络扳手不可反用，以免损坏活络扳唇，也不可用钢管接长手柄来施加较大的扳拧力矩。

④ 活络扳手不得当作撬棒和手锤使用。

9. 冲击钻与电锤

1）冲击钻

冲击钻是一种既有普通电钻作用，又有冲打砌块和砖墙作用的一种常见的便携式电动工具。

（1）冲击钻的外形（如图 2-11（a）所示）



（a）冲击钻



（b）电锤

图 2-11　冲击钻和电锤

（2）冲击钻的作用

① 作为普通电钻使用：把调节开关调到标记为“旋转”的位置，即可作为电钻使用。

② 作为冲击钻使用：把调节开关调到标记为“冲击”的位置，即可用来冲打砌块和砖墙等建筑材料的木榫孔和导线穿墙孔，通常可冲打直径为 6～16mm 的圆孔。

（3）冲击钻的使用及维护

① 冲击电钻使用前必须保证软电线的完好，不可任意接长和拆换不同类型的软电线。

② 为了保护冲击钻正常工作，应保持换向器的清洁。当炭刷的有效长度小于 3mm 时，应及时更换。

③ 使用时应保持钻头锋利，待冲击钻正常运转后，才能钻或冲。在钻或冲的过程中不能用力过猛，不能单人操作。遇到转速变慢或突然刹住时，应立即减少用力，并及时退出或切断电源，防止过载。

④ 冲击钻内所有滚珠轴承和减速齿轮的润滑脂要经常保持清洁，并注意添换。

⑤ 冲击钻的塑料外壳要妥善保护，不能碰裂，勿与汽油及其他腐蚀溶剂接触，不适宜在含有易燃、易爆或腐蚀性气体及潮湿等特殊环境中使用。

⑥ 在使用时应使风路畅通，并防止铁屑等其他杂物进入而损坏冲击钻。

⑦ 长期搁置不用的冲击钻，在使用前必须测量绝缘电阻（带电零件与外壳间），如小于 7MΩ，必须进行干燥处理和维护，经检查合格后方可使用。

2）电锤

电锤是一种适用于混凝土、砖石等硬质建筑材料钻孔的便携式电动工具，广泛代替手工

凿孔操作，可大大地减轻劳动强度。

（1）电锤的外形（如图 2-11（b）所示）

（2）电锤的使用及维护

① 在使用前空转 1min，检查电锤各部分的状态，待转动灵活无障碍后，装上钻头开始工作。

② 装上钻头后，最好先将钻头顶在工作面上再开钻，避免空打使锤头受冲击影响。装钻头时，只要将杆插进锤头孔，锤头槽内圆柱自动挂住钻杆便可工作。若要更换钻头，将弹簧头轻轻往后一拉，钻头即可拔出。

③ 电锤不仅能向下钻孔，也能向各个方向钻孔。向下钻孔时，只要双手紧握两个手柄，向下不需要用力。向其他方向钻孔时只要稍许加力即可。用力过大则对钻孔速度、钻头寿命等都有害无益。

④ 辅助手柄上的定位杆是对钻孔深度有一定要求时采用的，当钻孔安装膨胀螺栓时，可用定位杆来控制钻孔的深度。

⑤ 在操作过程中，如有不正常的声音和现象，应立即停机，切断电源检查。若连续使用时间太长，电锤过热，也应停机，让其在空气中冷却后再使用，切不可用水喷浇冷却。

⑥ 电锤累计工作约 70h 时，应加一次润滑脂，约 50g。将润滑脂注入活塞转套内和滚轴承处。

⑦ 电锤须定期检查，使换向器部件光洁完好，通风道清洁畅通，清洗机械部分的每个零件。重新装配时，活塞转套等配合面都要加润滑油，并注意不要将冲击活塞放到压气活塞的底部，否则排除了气垫，电锤将不冲击。应将所有的零件按原来位置装好。

10. 压线钳

压线钳又称压接钳。它的作用是对于较大负荷的多根铝芯导线进行直线连接，主要包括压接钳和压接管（又称钳接管），如图 2-12（a）和（b）所示。

连接导线的具体操作步骤如下：

① 根据多股铝芯线规格选择合适的铝压接管。

② 用钢丝刷清除铝芯线表面和压接管内壁的铝氧化层，涂上一层中性凡士林。

③ 把两根铝芯导线线端相对穿入压接管，并使线端穿出压接管 25～30mm，如图 2-12（c）所示。

④ 进行压接，如图 2-12（d）所示。压接时，第一道压坑应压在铝芯线线端一侧，不可压反，压接坑的距离和数量应符合技术要求。

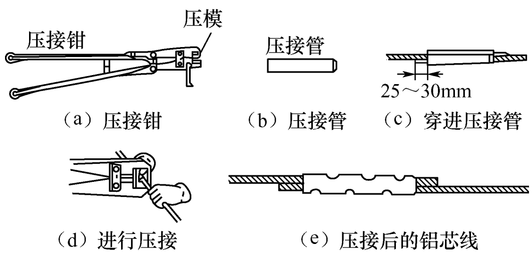


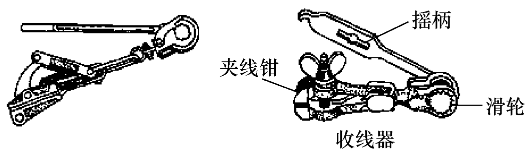
图 2-12　压接钳和压接管

11. 紧线器

1）紧线器的外形及结构

紧线器又称拉线钳、拉插子。紧线器用来收紧户内绝缘子线路和户外架空线路的导线。紧线器的种类很多，常用的有平口式和虎头式两种。平口式又叫鬼爪式，它由前部（包括上钳口和拉环）和后部（包括棘爪和棘轮扳手）两部分组成。虎头式又叫钳式，它的前部带有

利用螺栓夹紧线材的钳口（与老虎钳钳口相似），后部有棘轮装置，用来绞紧架空线，并有两用扳手一只，一端制有一个可旋动钳口螺母的孔；另一端制有可以绞紧棘轮的孔。紧线器外形如图2-13所示。



（a）平口式紧线器　　（b）虎头式紧线器

图 2-13　紧线器

2）紧线器的使用方法

（1）平口式紧线器使用方法

① 上线（前部）。一只手握住拉环，另一只手握住下钳口，往后推移，将需要拉紧的导线放入钳口槽中，放开手中下钳口，利用弹簧夹住导线。

② 收紧（后部）。把一端钢绳穿入紧线盘的孔中，将棘爪扣住棘轮，然后利用棘轮扳手前后往返运动，将导线逐渐拉紧。

③ 放松。将导线拉紧到一定程度并扎牢后，将棘轮扳手推前一些，使棘轮产生间隙，此时用手将棘爪向上扳开，被收紧的导线就会自动放松。

④ 卸线。仍用一只手握住拉环，另一只手握住下钳往后推，如发现钳口夹线过紧时，可用其他工具轻轻敲击钳口，被夹持的导线就能自动卸落。

（2）虎头式紧线器使用方法

虎头式紧线器的使用方法与平口式基本相同。不同之处是虎头式上线时，须旋松翼形螺母，这时钳口就自动弹开，将导线放入钳口后旋紧翼形螺母即可夹住导线。

3）紧线器使用注意事项

① 估计使用导线的粗细，采用相应规格的紧线器。

② 在用平口式紧线器收紧时应扣住棘爪与棘轮，防止棘爪脱开打滑。

提示：使用紧线器时如发现有滑线（逃线）现象，应立即停止使用并采取措施（如在导线上加一垫衬物），再次夹住，使导线确实夹牢后才能继续使用。

2.2.2　常用电工仪表

1. 常用电工仪表概述

1）常用电工仪表分类

（1）按工作原理分

按工作原理分，电工仪表分为磁电式、电磁式、电动式和感应式。

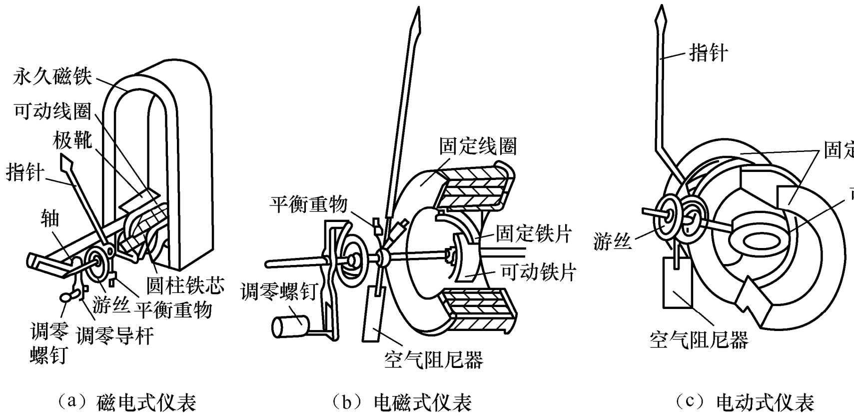
① 磁电式仪表。它由固定的永久磁铁、可转动的线圈及转轴、游丝、指针、机械调零机构等组成。线圈位于永久磁铁的极靴之间。当线圈中流过直流电流时，线圈在永久磁铁的磁场中受力，并带动指针、转轴克服游丝的反作用力而偏转。当电磁作用力与反作用力平衡时，指针停留在某一确定位置，指针在刻度盘上指出相应的读数。机械调零机构用于校正零位误差，在没有测量时借以将仪表指针调到指向零位。磁电式仪表的灵敏度和精确度较高、刻度盘分度均匀。磁电式仪表必须加上整流器才能用于交流测量，而且过载能力较小。磁电式仪表多用来制作携带式电压表、电流表等。

② 电磁式仪表。它由固定的线圈、可转动的铁芯及转轴、游丝、指针、机械调零机构等组成。铁芯位于线圈的空腔内，当线圈中流过电流时，线圈产生的磁场使铁芯磁化。铁芯磁

化后受到磁场力的作用并带动指针偏转。电磁式仪表过载能力强，可直接用于直流和交流测量。电磁式仪表的精度较低，刻度盘分度不均匀，容易受外磁场干扰，结构上应有抗干扰设计。电磁式仪表常用来制作配电用电压表、电流表等。

③ 电动式仪表。它由固定的线圈、可转动线圈及转轴、游丝、指针、机械调零机构等组成。当两个线圈中都流过电流时，可转动线圈受力并带动指针偏转。电动式仪表可直接用于交、直流测量，精度较高。电动式仪表制作电压表或电流表时，刻度盘分度不均匀（制作功率表时，刻度盘分度均匀），结构上也应有抗干扰设计。电动式仪表常用来制作功率表、功率因数表等。

三种常用的指示仪表结构如图 2-14 所示。



（a）磁电式仪表　（b）电磁式仪表　（c）电动式仪表

图 2-14　常用的指示仪表结构图

④ 感应式仪表。它由固定的开口电磁铁、永久磁铁、可转动铝盘及转轴、计数器等组成。当电磁铁线圈中流过电流时，铝盘里产生涡流，涡流与磁场相互作用使铝盘受力转动，计数器计数。铝盘转动时切割永久磁铁的磁场产生反作用力矩。感应式仪表用于计量交流电能。

（2）按精确度等级分

按精确度等级分，电工仪表分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 级。仪表精确度 $k\%$用引用相对误差表示，如下式所示，式中Δm 和 A_m 分别为最大绝对误差和仪表量程。例如，0.5 级仪表的引用相对误差为 0.5%。

$$k\%=\frac{\Delta m}{A_m}\times 100\%$$

（3）按测量方法分

按测量方法分，电工仪表主要分为直读式仪表和比较式仪表。前者根据仪表指针所指位置从刻度盘上直接读数，如电流表、万用表、兆欧表等。后者是将被测量与已知的标准量进行比较来测量，如电桥、接地电阻测量仪等。

（4）其他分类方法

① 按读数方式可分为指针式、光标式、数字式等。

② 按安装方式可分为携带式和固定安装式。

③ 按仪表防护性能可分为普通型、防尘型、防溅型、防水型、水密型、气密型、隔爆型 7 种。

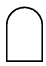
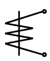
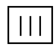
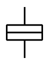
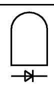
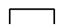
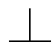
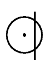
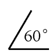
④ 按仪表测量的参数可分为电流表、电压表、功率表、电度表、欧姆表、兆欧表等。

⑤ 按被测物理量性质分类，可分为直流电表、交流电表和交直流电表。交流电表一般都是按正弦交流电的有效值标度的。

2）仪表面板上常用的符号

电工仪表的面板上，标有该仪表有关技术特性的各种符号。这些符号表示该仪表的使用条件，所测有关的电气参数范围、结构和精确度等级等，为该仪表的选择和使用提供了重要依据。仪表面板上常用的符号如表 2-1 所示。

表 2-1　电工仪表的常用符号

符　　号	符 号 意 义	符　　号	符 号 意 义
	磁电式仪表		精度等级 1.5 级
	电磁式仪表		外磁场防护等级III级
	电动式仪表		耐压试验 2kV
	整流磁电式仪表		水平放置使用
	磁电比率式仪表		垂直安装使用
	感应式仪表		倾斜 60°安装使用

3）电工仪表的选择

（1）仪表类型的选择

① 测量直流时，可使用磁电式、电磁式或电动式仪表，由于磁电式的灵敏度和准确度最高，所以使用最为普遍。

② 测量交流时，可使用电磁式、电动式或感应式等仪表，其中电磁式应用较多。

（2）仪表精度的选择

从提高测量准确度的角度出发，仪表的精确度越高越好。但精确度高的仪表对工作环境条件的要求严格，仪表的成本也高，所以仪表精确度的选择，要从测量的实际需要出发，既要满足测量要求，又要节约成本。

通常 0.1 级和 0.2 级仪表用作标准仪表或在精密测量时选用，0.5 级和 1.0 级仪表作为实验室测量选用，1.5 级、2.5 级和 5.0 级仪表可在一般工程测量中选用。

（3）仪表量程的选择

仪表只有在合理的量程下，其准确度才有指导意义，这在指示仪表中具有普遍意义。由于测量误差与仪表的量程有关，如果仪表的量程选择得不合理，即使仪表本身的准确度很高，测量误差也会较大。选择仪表量程时，应尽量按使用标尺的 1/2 到 2/3 原则来选择。在该区域内，测量误差基本上等于仪表的精度等级，而在标尺中间位置上的测量误差为仪表准确度的 2 倍。

提示：应尽量避免使用标尺的前 1/4 段，但要保证仪表的量程大于被测量的最大值。

（4）仪表内阻的选择

仪表的内阻是指仪表两端子间的等效电阻，它反映了仪表本身消耗的功率大小，测量时会影响电路的工作状态。选择仪表时，要根据被测对象阻抗大小来选择仪表内阻，否则会给测量结果带来很大误差。

为了使仪表接入测量电路后不至于改变原来电路的工作状态，要求电流表或功率表的电流线圈内阻尽量小些，并且量程越大，内阻应越小；而要求电压表或功率表的电压线圈内阻尽量大些，并且量程越大，内阻应越大。

选择仪表时，对仪表的类型、精度、量程、内阻等的选择要综合考虑，特别要考虑引起较大误差的因素。除此之外，还应考虑仪表的使用环境和工作条件。在国家标准中，对仪表的使用环境和工作条件进行了具体的规定，仪表必须在规定的工作条件下使用。

2. 电流表和电压表

电流表和电压表是测量电流、电压及相关物理量的常用电工仪表，为了保证测量精度，减小测量误差，应合理选择仪表的结构类型、测量范围、精度等级、仪表内阻等，还须采用正确的测量方法。表 2-1 为电工仪表的常用符号。

1）电流表的使用

电流表应串联在被测电路中。

（1）直流电流的测量

测量直流电流时，要注意仪表的极性和量程，如图 2-15 所示。在用带有分流器的仪表测量时，应将分流器的电流端钮（外侧两个端钮）接入电路中，如图 2-16 所示，由表头引出的导线应接在分流器的电位端钮上。

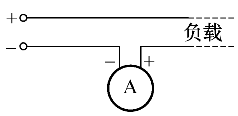


图 2-15　电流表直接接入法

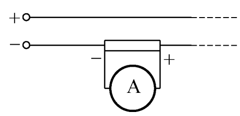


图 2-16　带有分流器的接入法

（2）交流电流的测量

测量单相交流电流的接线方式如图 2-17 所示。在测量大容量的交流电时，常借助于电流互感器来扩大电流表的量程，其接线方式如图 2-18 所示。电流表的内阻越小，测出的结果越准确。例如，C30-A 型 0.1 级船用仪表，量程为 0～3A 挡的内阻只有 0.025Ω。

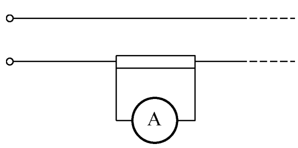


图 2-17　电流表测量交流

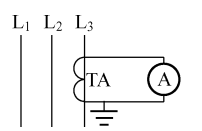


图 2-18　接入电流互感器测量交流电流

2）电压表的使用

测量电压时，应将电压表并联在被测电压的两端，如图 2-19 所示。使用磁电式仪表测量直流电压时，还要注意仪表接线钮上的“+”、“−”极性标记，不可接错。

600V 以上的交流电压，一般不直接接入电压表。工厂中变压系统的电压，均要通过电压互感器，将二次侧的电压变换到 100V 再进行测量，其接线方法如图 2-20 所示。

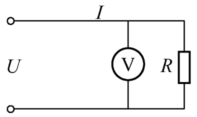


图 2-19　电压表直接接入法

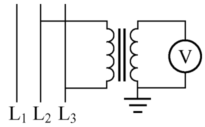
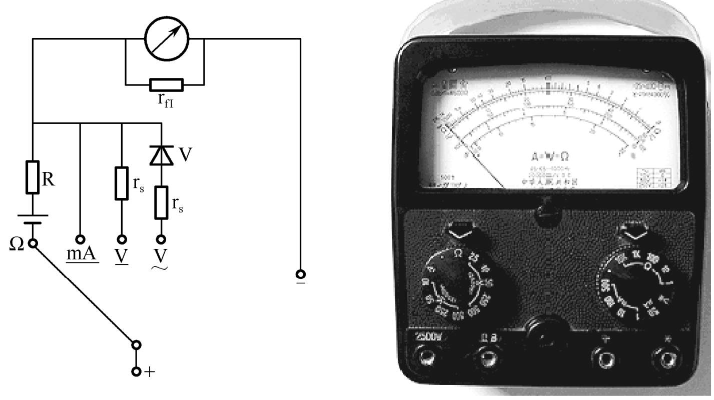


图 2-20　接入电压互感器测量交流电压

提示：电流表串联在电路中，电压表并联在电路中。

3. 万用表

万用表是一种多功能、多量程的便携式仪表。常用的万用表有指针式（模拟式）和数字式两种。万用表一般都能测直流电流、直流电压、交流电流、直流电阻等电量，有的万用表还能测功率、电容、电感及晶体三极管的 hFE 值等。万用表的型号很多，使用方法也有些不同，但基本原理是一样的，其最简单的测量原理如图 2-21（a）所示，图 2-21（b）为 500 型万用表面板图，图 2-22 为数字式万用表。下面以图 2-21 所示的 500 型万用表的面板图为例来说明其使用方法。



（a）万用表测量原理图　　（b）500型万用表外观图

图 2-21　万用表测量原理图及 500 型万用表外观图



图 2-22　数字式万用表

1）万用表的组成

万用表由表头、测量电路、转换开关三个主要部分组成。

（1）表头

表头是一只高灵敏度的磁电式直流电流表，万用表的主要性能指标基本上取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流电流值，这个值越小，表头的灵敏度越高。测量电压时的内阻越大，其性能就越好。表头上有 4 条刻度线，它们的功能如下：第一条（从上到下）标有 R 或Ω，指示的是电阻值，转换开关在欧姆挡时，即读此条刻度线。第二条标有∽和 VA，指示的是交、直流电压值和直流电流值，当转换开关在交、直流电压挡或直流电流挡，量程在除交流 10V 以外的其他位置时，即读此条刻度线。第三条标有 10V，指示的是 10V 的交流电压值，当转换开关在交、直流电压挡，量程在交流 10V 时，即读此条刻度线。第四条标有 dB，指示的是音频电平。

（2）测量线路

测量线路指用来把各种被测量转换到适合表头测量的微小直流电流的电路，它由电阻、半导体元件及电池组成。它能将各种不同的被测量（如电流、电压、电阻等）、不同的量程，经过一系列的处理（如整流、分流、分压等）统一变成一定量程的微小直流电流送入表头进行测量。

（3）转换开关

转换开关用来选择各种不同的测量线路，以满足不同种类和不同量程的测量要求。转换开关一般有两个，分别标有不同的挡位和量程。

2）万用表的使用方法

（1）使用前的准备

① 机械零点。万用表测量电压、电流前，先要调整机械零点，把万用表水平放置好，看表针是否指在电压刻度零点，如不指零，则应旋动机械调零螺钉，使表针准确指在零点上。

② 欧姆零点。万用表测量电阻前，应先调整欧姆零点，将两表笔短接，看表针是否指在欧姆零刻度上，若不指零，应转动欧姆调零旋钮，使表针指在零点。每次变换倍率挡后，应重新调零。

③ 插入表笔。万用表有红色和黑色两只表笔（测试棒），使用时插入表下方标有“+”和“*”的两个插孔内，红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“* ”插孔。

④ 对应读数。万用表的刻度盘上有许多标度尺，分别对应不同被测量和不同量程，测量时应在与被测电量及其量程相对应的刻度线上读数。

提示：对万用表进行调零时，若无法使指针指到零点，则应当更换电池。

（2）测量电压

① 测量交流电压。

a．将右边转换开关转到交流电压挡“ $\underset{\sim}{V}$ ”，再用左边转换开关选择适当的电压量程，测量交流电压时不分正、负极。

b．如果被测量电压的数值不知道，可选用表的最高测量范围 500V，指针若偏转很小，再逐级调低到合适的测量范围。

c．测量时，将表笔并联在被测电路或被测元器件两端。严禁在测量中拨动转换开关选择量程。

d．测电压时，要养成单手操作习惯，且注意力要高度集中。

e．由于表盘上交流电压刻度是按正弦交流电标定的，如果被测电量不是正弦量，误差会较大。

f. 可测交流电压的频率范围一般为45～1000Hz，如果超过范围，误差会增大。

② 测量直流电压。其测量方法与交流电压基本相同，但要注意下面两点：

a. 将转换开关转到直流电压挡“V”。

b. 测量时，必须注意表笔的正、负极性。红表笔接被测电路的高电位端，黑表笔接低电位端。若表笔接反了，表头指针会反打，容易打弯指针。如果不知道被测点电位高低，可将表笔轻轻地试触一下被测点。若指针反偏，说明表笔极性反了，交换表笔即可。

（3） 测量直流电流

① 将左边转换开关旋到直流电流挡“mA”或“μA”上。

② 右边转换开关选择适当的电流量程。

③ 将万用表串联到被测电路中进行测量。测量时注意正、负极性必须正确，应按电流从正到负的方向，即由红表笔流入，黑表笔流出。

④ 测量大于500mA的电流时，应将红表笔插到“5A”插孔内。

（4）测量电阻

① 将左边转换开关旋到欧姆挡“Ω”符号上。

② 右边转换开关选择适当的电阻倍率，使指针指示在中值附近。最好不使用刻度左边1/3的部分，这部分刻度密集，读数准确度很差。

③ 调整欧姆零点。

④ 测量时用红、黑两表笔接在被测电阻两端进行测量，为提高测量的准确度，选择量程时应使表针指在欧姆刻度的中间位置附近为宜，测量值由表盘欧姆刻度线上读数。

被测电阻值=表盘欧姆读数×挡位倍率

⑤ 不能带电测量电阻，若带电测量相当于在测量回路中又增加一个外加电源，这不仅使测量结果无效，而且可能烧坏表头。所以测量电路电阻时，首先应断开电源。

⑥ 被测电阻不能有并联支路，否则测得的电阻值将不是被测电阻的实际值，而是某一等效电阻值。

⑦ 测量电阻时，不要双手同时接触表笔的金属部分，否则，人体电阻与被测电阻并联，影响测量的准确度，在测量阻值较高的电阻时，尤其要注意。

3）万用表的使用注意事项

（1）转换开关的位置应选择正确。选择测量种类时，要特别细心，若误用电流挡或电阻挡测电压，轻则表针损坏，重则表头烧毁。选择量程时也要适当，测量时最好使指针在量程1/2到2/3范围内，读数较为准确。在无法预测测量的电压或电流值时，应选择最高量程，然后再逐步减小量程。

（2）端钮或插孔选择要正确。红色表笔应插入标有“+”号的插孔内，黑色表笔应插入标有“−”号的插孔内；在测量电阻时注意万用表内干电池的正极与面板上“−”号插孔相连，干电池的负极是与面板上“+”号插孔相连。

（3）当测量线路中的某一电阻时，线路必须与电源断开，不能在带电的情况下测量电阻值，否则会烧坏万用表。

（4）在测量大电流或高电压时，禁止带电转换量程开关。

（5）测量直流电量时，正、负极性应正确，接反会导致表针反向偏转，引起仪表损坏。在不能分清正、负极时，可选用较大量程的挡试测，一旦发生指针反偏，应立即更正。

（6）正确读数。读数时应首先分清各类标尺，再从垂直于表盘中心的位置正确读数，若

有反射镜，则应待指针与反射镜中镜像重合时读数。

（7）数字万用表不能在电磁干扰的场合使用，以免影响读数的准确性。

（8）测量完毕，应将转换开关拨到最高交流电压挡，有的万用表（如 500 型）应将转换开关拨到标有“.”的空挡位置。若仪表长期不用时，应取出内部电池，以防电解液流出损坏仪表。

提示：

① 在使用万用表前，要选择所测量的物理量和量程，因此，左右两个转换开关都应进行选择。

② 测量电阻时，每转换一次挡位开关就应重新调零一次。

4. 钳形电流表

1）概述

钳形电流表的外形与钳子相似，使用时将导线穿过钳形铁芯，因此又叫钳形表，是常用的一种电流表。用普通电流表测量电路电流时，需要切断电路，接入电流表。而钳形电流表可在不切断电路的情况下测量电流，即可带电测量电流，这是钳形电流表的最大特点。其结构如图 2-23 所示。

常用的钳形电流表有指针式和数字式两种。指针式钳形电流表测量的准确度较低，通常为 2.5 级或 5.0 级。数字式钳形电流表测量的准确度较高，用外接表笔和挡位转换开关相配合，还具有测量交/直流电压、直流电阻和工频电压频率的功能。

2）结构

（1）指针式钳形电流表

指针式钳形电流表主要由铁芯、电流互感器、电流表及钳形扳手等组成。钳形电流表能在不切断电路的情况下进行电流的测量，是因为它具有一个特殊的结构：可张开和闭合的活动铁芯。当捏紧钳形电流表手柄时，铁芯张开，被测电路可穿入铁芯；放松手柄时，铁芯闭合，被测电路作为铁芯的一次线圈。如图 2-24（a）所示为其测量机构示意图。

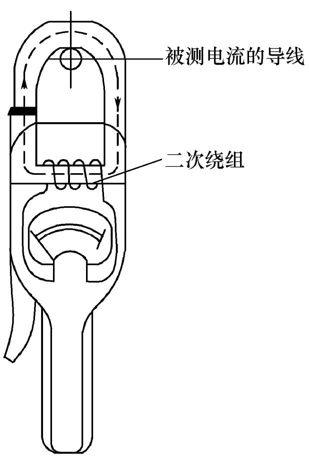
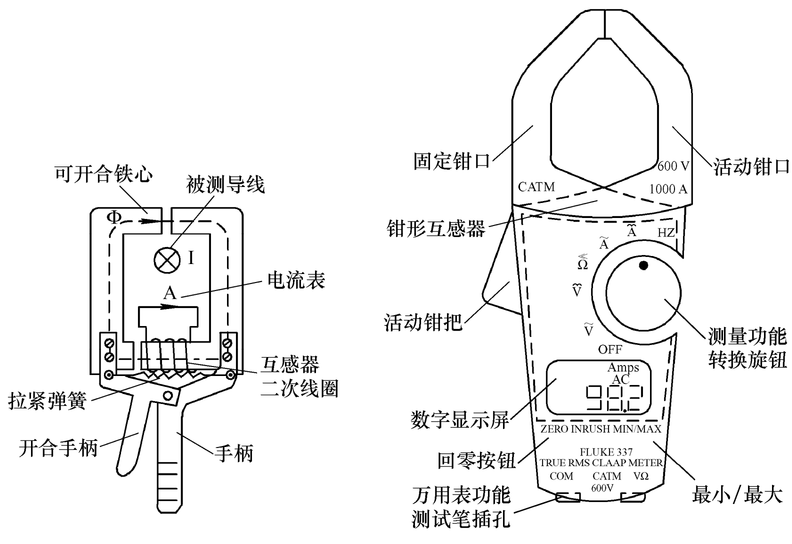


图 2-23　钳形电流表的外形



（a）指针式钳形电流表测量示意图　　（b）数字式钳形电流表

图 2-24　钳形电流表结构

（2）数字式钳形电流表

数字式钳形电流表测量机构主要由具有钳形铁芯的互感器（固定钳口、活动钳口、活动钳把及二次绕组）、测量功能转换开关（或量程转换开关）、数字显示屏等组成。如图 2-24（b）所示为 FLUKE 337 型数字式钳形电流表的面板示意图。

3）钳形电流表的使用方法

使用时，将量程开关转到合适位置，手持胶木手柄，用食指勾紧铁芯开关，便可打开铁芯，将被测导线从铁芯缺口引入到铁芯中央，然后，放松食指，铁芯自动闭合，被测导线的电流在铁芯中产生交变磁力线，钳形电流表感应出电流，可直接读数。

① 根据被测电流的种类和线路的电压，选择合适型号的钳形电流表，测量前首先必须调零（机械调零）。

② 检查钳口表面，应清洁无污物、无锈。当钳口闭合时应密合，无缝隙。

③ 若已知被测电流的粗略值，则按此值选合适量程。若无法估算被测电流值，则应先放到最大量程，然后再逐步减小量程，直到指针偏转不少于满偏的 1/4，最好指针偏转达到 1/2～2/3 之间，如图 2-25（a）所示。

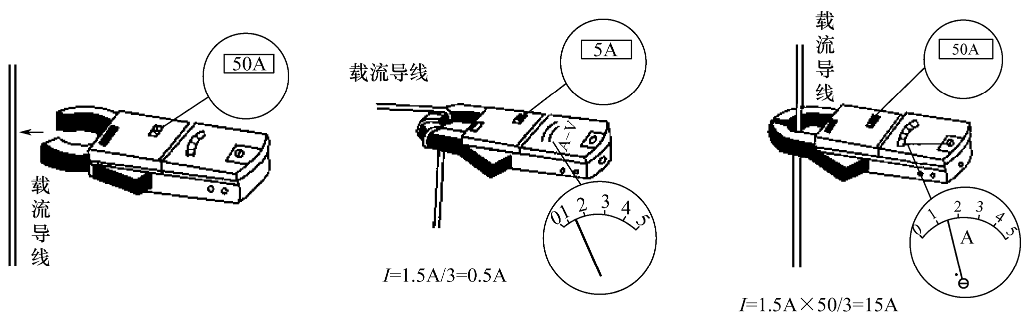


图 2-25　钳形电流表的使用

④ 被测电流较小时，可将被测载流导线在铁芯上绕几匝后再测量，实际电流数值应为钳形电流表读数除以放进钳口内的导线根数，如图 2-25（b）所示。

⑤ 测量时，应尽可能使被测导线置于钳口内中心垂直位置，并使钳口紧闭，以减小测量误差，如图 2-25（c）所示。

⑥ 测量完毕后，应将量程转换开关置于交流电压最大位置，避免下次使用时误测大电流。

4）钳形电流表的使用注意事项

① 测量高压电流时，要戴绝缘手套，穿绝缘靴，并站在绝缘台上。

② 测量时应使被测导线置于钳口内的中心位置，并使钳口紧闭。

③ 转换量程挡位时，应在不带电的情况下进行，以免损坏仪表或发生触电危险。

④ 进行测量时要注意保持与带电部分的安全距离，以免发生触电事故。

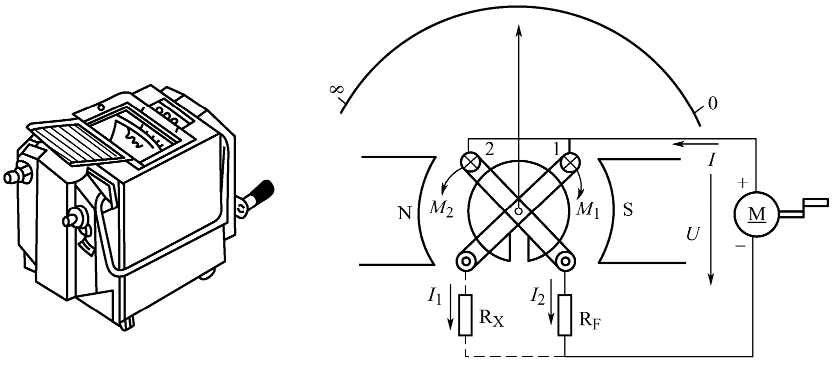
提示：钳形电流表不用时，应放到大的挡位上。

5. 兆欧表

兆欧表又叫摇表，或者绝缘电阻测定仪、高阻表等，是一种测量电气设备、供电线路绝缘电阻的可携式仪表，以“MΩ”为单位，用“MD”符号表示。

1）兆欧表的结构原理

兆欧表主要由手摇直流发电机和磁电系电流比率式测量机构（流比计）组成，其外形和结构原理图如图 2-26 所示。手摇直流发电机的额定输出电压有 250V、500V、1kV、2.5kV、5kV 等几种规格。摇表的种类很多，但其作用原理大致相同。



（a）外形　　（b）结构原理

图 2-26　ZC11 型摇表的外形及结构原理图

2）兆欧表的选用

选择兆欧表时，其额定电压一定要与被测电气设备或线路的工作电压相适应，测量范围也要与被测绝缘电阻的范围相吻合。兆欧表的额定电压和量程选择如表 2-2 所示。

表 2-2　兆欧表的额定电压和量程选择

被测对象	设备额定电压/V	兆欧表额定电压/V	兆欧表量程/MΩ
普通线圈的绝缘电阻	500 以下	500	0～200
变压器和电动机线圈的绝缘电阻	500 以上	1000～2500	0～200
发电机线圈的绝缘电阻	500 以下	1000	0～200
低压电气设备的绝缘电阻	500 以下	500～1000	0～200
高压电气设备的绝缘电阻	500 以上	2500	0～2000
瓷瓶、高压电缆、刀闸	—	2500～5000	0～2000

不能用额定电压低的兆欧表测量高压电气设备，否则测量结果不能反映工作电压下的绝缘电阻；但也不能用额定电压过高的兆欧表测量低压设备，否则会产生电压击穿而损坏设备。

3）使用前的准备

① 校表。摇表内部由于无机械反作用力矩的装置，指针在表盘上任意位置皆可，无机械零位，因此在使用前不能以指针位置来判别表的好坏，而要通过校表来判别。首先将兆欧表水平放置，两表夹分开，一只手按住摇表，另一只手以 90～130r/min 转速摇动手柄，若指针偏到“∞”，则停止转动手柄； 然后将 L、E 两端短路，若指针偏到“0”，则说明该兆欧表良好，可用。特别指出： 摇表指针一旦到零，应立即停止摇动手柄，否则将损坏兆欧表。此过程又称校零和校无穷，简称校表。

② 不带电测量。用兆欧表测量线路或设备的绝缘电阻，必须在不带电的情况下进行，决不允许带电测量。

③ 充分放电。测量前应先断开被测线路或设备的电源，并对被测设备进行充分放电，清

除残存静电荷，以免危及人身安全或损坏仪表。必要时被测设备可加接地线。

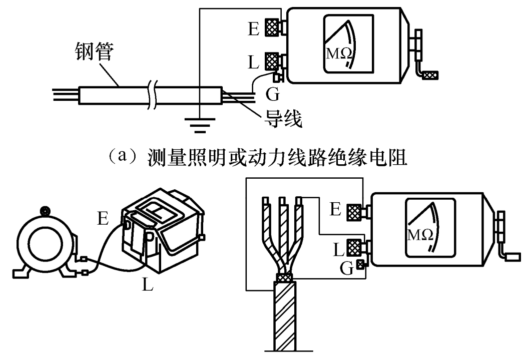
4）兆欧表的接线和测量方法

兆欧表有三个接线柱，其中两个较大的接线柱上分别标有“接地”（E）和“线路”（L），另一个较小的接线柱上标有“保护环”或“屏蔽”（G）。

① 测量照明或电力线路对地的绝缘电阻。将摇表接线柱的 E 可靠接地，L 接到被测线路上，如图 2-27（a）所示。

② 测量电动机、电气设备的绝缘电阻。将 E 接线柱接设备外壳，L 接电动机绕组或设备内部电路，如图 2-27（b）所示。

③ 测量电缆的绝缘电阻。测量电缆的导电线芯与电缆外壳的绝缘电阻时，除将被测两端分别接 E 和 L 两接线柱外，还需将 G 接线柱引线接到电缆壳芯之间的绝缘层上，如图 2-27（c）所示。



（a）测量照明或动力线路绝缘电阻

（b）测量电动机绝缘电阻　（c）测量电缆绝缘电阻

图 2-27　兆欧表的接线方法

5）测量方法

① 测量。接好线后，按顺时针方向摇动手柄，先慢摇，后加速，加到 120r/min 时，匀速摇动手柄 1min，待兆欧表指针稳定时，读取指示值为测量结果。读数时，应边摇边读，不能停下来读数。

② 拆线。拆线原则是先拆线后停止摇动手柄，即读完数后，不要停止摇动手柄，将 L 线拆开后，才能停止摇动。如果电器设备容量较小，其内无电容器或分布电容很小，也可停止摇动手柄后再拆线。

③ 放电。拆线后对被测设备两端进行放电。

④ 清理现场。

提示：兆欧表使用完毕，先拆线后，才能停止摇动手柄。

6）兆欧表的使用注意事项

电气设备的绝缘电阻都比较大，尤其是高压电气设备处于高电压工作状态，测量中保证人身及设备安全至关重要。同样，测量结果的可靠性也非常重要，测量时，必须注意以下几点：

① 测量前必须切断设备的电源，并接地或短路放电，以保证人身和设备安全，获得正确的测量结果。

② 在摇表使用过程中要特别注意安全，因为摇表端子有较高的电压，摇表测量完后应立即使被测物体放电，在摇表的摇把未停止转动和被测物体未放电前，不可用手触及被测部位，也不可去拆除连接导线，以防触电。

③ 对于有可能感应出高电压的设备，要采取措施，消除感应高电压后再进行测量。

④ 被测设备表面要处理干净，以获得准确的测量结果。

⑤ 摇表与被测设备之间的测量线应采用单股线，单独连接；不可采用双股绝缘绞线，以免绝缘不良而引起测量误差。

提示：

① 禁止在雷电时用摇表在电力线路上进行测量，禁止在有高压导体的设备附近测量绝缘

电阻。

② 兆欧表在不用时，其指针可停在任意位置。

6. 功率表

功率表是电动系仪表，用于直流电路和交流电路中测量电功率，其结构主要由固定的电流线圈和可动的电压线圈组成。

直流电功率测量的是被测负载电压和电流的乘积，即 $P=UI$；交流电功率的测量除应反映负载电压和电流的乘积外，同时反映负载的功率因数，即 $P=UI\cos\phi$。

功率表有低功率因数功率表和高功率因数功率表。常用两种型号的功率表为：D34-W 型功率表，属于低功率因数功率表，$\cos\phi=0.2$；D51 型功率表，属于高功率因数功率表，$\cos\phi=1$。本节以 D34-W 型功率表为例，对功率表的使用方法进行介绍，其他型号功率表的使用方法与其基本类似。

1）概述

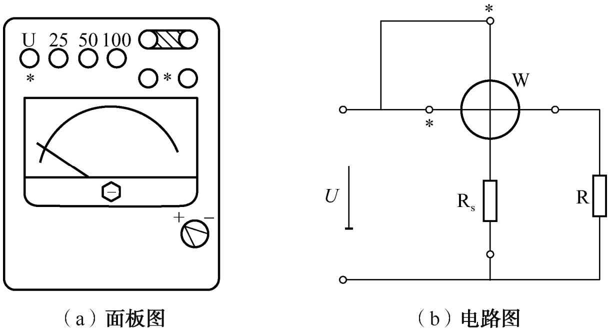
（1）功率表的外形及电路图

电动系功率表由电动系测量机构与附加电阻 R_s 构成。测量机构的固定线圈 A 与负载 R 串联，反映负载电流，称为电流线圈；可动线圈 D 串联附加电阻 R_s 后与负载并联，反映了负载两端电压，称为电压线圈。功率表接入电路如图 2-28 所示。其中 W 表示功率表。

（2）量程选择

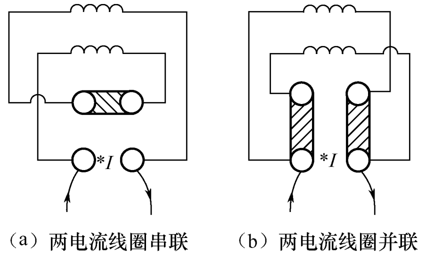
功率表的电压量程和电流量程要大于被测电路的电压值、电流值。只有保证电压线圈和电流线圈都不过载，测量的功率值才准确，功率表也不会被烧坏。功率表的量程选择如图 2-29 所示。

如图 2-28 所示为 D34-W 型功率表面板图，该表有 4 个电压接线柱，其中一个带有“*”标的接线柱为公共端，另外三个是电压量程选择端，有 25V、50V、100V 量程。4 个电流接线柱，没有量程标注，需要通过对 4 个接线柱的不同连接方式改变量程，即通过活动连接片使两个 0.25A 的电流线圈串联，得到 0.25A 的量程，如图 2-29（a）所示。通过活动连接片使两个电流线圈并联，得到 0.5A 的量程，如图 2-29（b）所示。



（a）面板图　（b）电路图

图 2-28　电动系功率表



（a）两电流线圈串联　（b）两电流线圈并联

图 2-29　功率表的量程选择

2）功率表的接线

（1）发电机端守则

功率表的转矩与流过表内线圈的电流方向有关，一旦其中一个线圈的电流方向接反，转矩方向也会改变。为此，在功率表两个线圈对应于电流流进的端钮上，都注有称为发电机端

标志“※”或“±”。

① 发电机端守则。

电流端：功率表标有“※”或“±”的电流端必须接至电源的一端，而另一电流端则接至负载端。电流线圈串联接入电路。

电压端：功率表标有“※”或“±”的电压端钮可以接至电流端钮的任意一端，而另一个电压端钮则跨接至负载的另一端。功率表的电压支路并联接入被测电路。

这样就保证线圈的电流方向都从发电机端流入，称为功率表接线的“发电机端守则”。如果功率表的接线正确，却又发现仪表指针反转，则说明负载端实际含有电源，它在向电路反馈电能，此时应将电流线圈反接，即对换电流端的接线。

② 电压线圈前接方式。功率表按“发电机端守则”正确接线的方式有两种，一种称为电压线圈前接方式，如图 2-30（a）所示，将电压线圈带“※”标志端向前接到电流线圈带“※”端。

③ 电压线圈后接方式。将电压线圈带“※”标志端向后接到电流线圈不带“※”端，如图 2-30（b）所示。

这样保证了功率表两线圈电流都从发电机端流入，动圈与定圈之间的电位也大致相同。

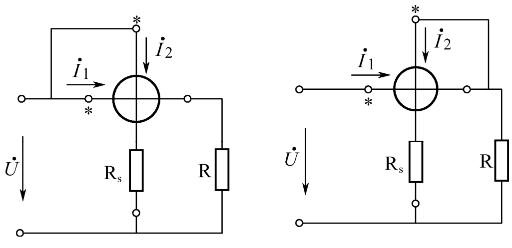
（2）功率表的错误接线

功率表经常出现的错误接线方法有三种。

① 电流端反接，如图 2-31（a）所示。

② 电压端反接，如图 2-31（b）所示。

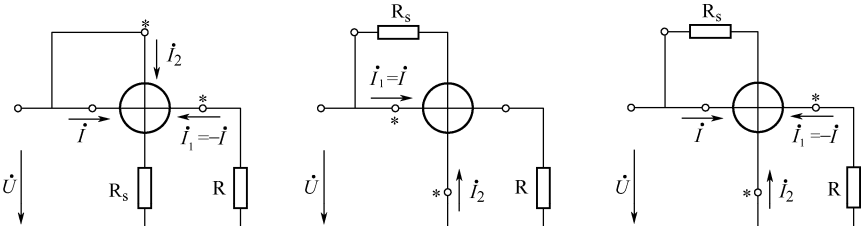
以上两种接法都将使功率表的平均转矩和偏转角为负值，仪表指针将反转而不能读数，甚至损坏仪表。



（a）电压线圈前接方式　（b）电压线圈后接方式

图 2-30　功率表的正确接线

③ 电流、电压端同时反接，如图 2-31（c）所示，这样接线虽然不会造成指针反转，但由于附加电阻 R_s 比动圈阻值大得多，电源电压 U 几乎全部降在 R_s 上，使得定圈之间存在接近于 U 值的电位差，将引起仪表的附加误差，甚至可能使线圈绝缘击穿。



（a）电流端反接　（b）电压端反接　（c）电流、电压端同时反接

图 2-31　功率表的错误接线

（3）正确选择功率表的接线方式

① 电压线圈前接方式。这种接线方式，功率表电流线圈的电流等于负载电流，但是功率表电压支路两端电压却等于负载电压加上功率表电流线圈的电压降，即在功率表的读数中多了电流线圈的功率消耗。因此，这种接线适用于负载电阻远比功率表电流线圈电阻大得多的情况，这样才能保证功率表本身的功率消耗对测量结果的影响比较小。

② 电压线圈后接方式。这种接线方式，功率表电压支路两端的电压虽然等于负载电压，但电流线圈的电流却等于负载电流加上功率表电压支路的电流，即功率表的读数中多了电压支路的功率消耗。因此，这种接线适用于负载电阻远比功率表电压支路电阻小得多的情况，这样才能保证功率表本身的功率消耗对测量结果的影响比较小。

在实际测量中，被测功率要比功率表损耗大得多，因此功率表的功率损耗可以不考虑。同时，由于功率表电流线圈的损耗通常比电压线圈损耗小，因此以采用电压线圈前接方式为宜。若被测功率很小却又不能忽略仪表的损耗，此时应根据功率表的功率损耗值对读数进行校正，或者采取一定的补偿措施。

（4）功率表接线实例

根据电路参数，选择电压量程为 50V，电流量程为 0.25A 时，功率表的实际连线如图 2-32 所示。

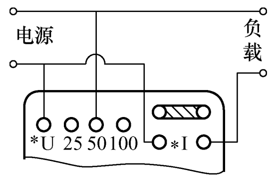


图 2-32　功率表接线实例

3）功率表的读数

（1）分格常数的定义

多量程功率表的量程标尺只有一条，不标瓦特数，只标分格数。在选用不同电流、电压量程时，每一分格代表的瓦特数都不相同。通常把每一分格所代表的瓦特数称为功率表的分格常数。一般在功率表使用说明书上附有表格，标明功率表在不同电流、电压量程的分格常数，以供查用。

（2）被测功率

被测功率=指针偏转格数×分格常数，即

$$P=C\alpha$$

式中　P——被测功率，W；

C——功率表分格常数，W/格；

α——指针偏转格数。

（3）分格常数的计算

分格常数计公式为

$$C=\frac{U_{\rm N}I_{\rm N}}{\alpha_{\rm m}}$$

式中　$U_{\rm N}$——功率表的电压量程；

$I_{\rm N}$——功率表的电流量程；

$\alpha_{\rm m}$——功率表标尺的满刻度格数。

【例 2-1】 用电压量程为 150V，电流量程为 5A，满刻度格数为 150 格的功率表去测量某电路功率时，指针的偏转格数为 110 格，计算被测功率。

解：分格常数为

$$C=\frac{U_{\rm N}I_{\rm N}}{\alpha_{\rm m}}=\frac{150\times 5}{150}=5\text{W/格}$$

被测功率为

$$P=C\alpha=5\times 110=550\text{W}$$

安装式功率表通常为单量程仪表，其电压量程为 100V，电流量程为 5A，与指定变比的电压互感器及电流互感器配套使用。为便于读数，这种仪表的标尺通常按被测功率的实际值加以标注。

4）功率表的使用注意事项

① 功率表在使用过程中应水平放置。

② 仪表指针如不在零位时，可利用表盖上零位调整器调整。

③ 测量时，如遇仪表指针反向偏转，应改变仪表面板上的“+”、“-”换向开关极性，切忌互换电压接线，以免使仪表产生误差。

④ 功率表所测功率值包括了其本身电流线圈的功率损耗，所以在进行准确测量时，应从测得的功率中减去电流线圈消耗的功率，才是所求负载消耗的功率。

⑤ D34-W 型、D51 型功率表量程、内阻、每格所代表的功率值如表 2-3 所示。

表 2-3 功率表量程、内阻、每格所代表的功率值

类型		D34-W 型功率表				D51 型功率表				
		电压量程			内阻	电压量程				内阻
		25V	50V	100V		75V	150V	300V	600V	
电流量程	0.25A	0.01W	0.02W	0.04W	27.6Ω	0.25W	0.50W	1.00W	2.00W	7.29Ω
	0.5A	0.02W	0.04W	0.08W	6.9Ω	0.50W	1.00W	2.00W	4.00W	1.88Ω

提示：功率表指针偏转大小只表明功率值，并不显示仪表本身是否过载，有时表针虽未达到满度，只要 U 或 I 其中之一超过该表的量程就会损坏仪表。故在使用功率表时，通常需接入电压表和电流表进行监控。

7. 电度表

电度表是用来自动记录用户电量的仪表，用以计算电费。

用来测量电能的仪表称为电度表或千瓦小时表。在供电系统中，电能的测量不仅反映负载的大小，还能反映出电能随时间增长积累的总和。因此，电度表除必须具有测量功率的机构外，还应能计算负载用电的时间，并把电能自动地累计出来。常用的有机械式电度表和电子式电度表。本书以机械式电度表为例进行介绍。

1）概述

（1）电度表的型号及其含义

电度表的型号是用字母和数字的排列来表示的，内容如下：类别代号+组别代号+设计序号+派生号。

例如，常用的家用单相电度表的型号有：DD862-4 型、DDS971 型、DDSY971 型等。它们型号的具体含义如下。

① 类别代号：D 表示电度表。

② 组别代号。

表示相线：D 表示单相；S 表示三相三线；T 表示三相四线。

表示用途的分类：D 表示多功能；S 表示电子式；X 表示无功；Y 表示预付费；F 表示复费率。

③ 设计序号：用阿拉伯数字表示，每个制造厂的设计序号不同，如长纱希麦特电子科技发展有限公司设计生产的电度表产品备案的序列号为 971，正泰公司的为 666 等。电度表型

号及其含义如表 2-4 所示。

表 2-4　电度表型号及其含义

型　　号	表 示 意 义	型 号 举 例
DD	单相电度表	DD971 型，DD862 型
DS	三相三线有功电度表	DS862 型，DS97l 型
DT	三相四线有功电度表	DT862 型、DT971 型
DX	无功电度表	DX97l 型、DX864 型
DDS	单相电子式电度表	DDS97l 型
DTS	三相四线电子式有功电度表	DTS97l 型
DDSY	单相电子式预付费电度表	DDSY97l 型
DTSF	三相四线电子式复费率有功电度表	DTSF97l 型
DSSD	三相三线多功能电度表	DSSD97l 型

（2）电度表参数

① 基本电流和额定最大电流。

基本电流：确定电度表有关特性的电流值。

额定最大电流：仪表能满足其制造标准规定的准确度的最大电流值。

例如，5（20）A 即表示电度表的基本电流为 5A，额定最大电流为 20A。三相电度表在前面乘以相数，如 3×5（20）A。

② 参比电压。参比电压指确定电度表有关特性的电压值。对于三相三线电度表以相数乘以线电压表示，如 3×380V。对于三相四线电度表则以相数乘以相电压或线电压表示，如 3×220/380V。对于单相电度表则以电压线路接线端上的电压表示，如 220V。

（3）电度表的选择

选择电度表应从用途、量程及测量值的准确度等方面进行考虑。

① 根据用途选择。可选择不同系列的电度表。如 DD 系列的单相电度表，DS 系列的三相三线有功电度表，DT 系列的三相四线有功电度表，以及 DX 系列的三相无功电度表。

② 根据量程选择。应根据负载的额定电压和最大额定电流要求，选取额定电压、额定电流相符的电度表。电度表的额定电流应大于或等于线路的计算电流，否则准确度变低，缩短寿命。

提示：电度表不允许在负荷经常低于额定值 5%以下的电路中使用，因为它不能准确计量所消耗的电能。

2）单相电度表接线方法

单相有功电度表（简称单相电度表）由接线端子、电流线圈、电压线圈、计量转盘、计数器等构成，只要电流线圈通过电流，同时电压线圈加有电压，转盘就受到电磁力而转动。

在单相交流电路中，电度表的接线方法原则上与功率表相同，即电度表的电流线圈与负载串联，电压线圈与负载并联，两个线圈的发电机端“※”应接电源的同一极性端。

单相电度表有专门的接线盒。单相电度表共有 5 个接线端子，其中有两个端子在电度表内部用连片短接，所以，单相电度表的外接端子只有 4 个，即 1、2、3、4 号端子，如图 2-33 所示。电压线圈和电流线圈的电源端出厂时已在接线盒中连好，配线时，1、3 接电源端，2、4 接负载端。

（1）直接接入法

在低压小电流的单相电路中，如果负载的功率在电度表允许的范围内，即流过电度表电流线圈的电流不至于导致线圈烧毁，那么就可以采用直接接入法。

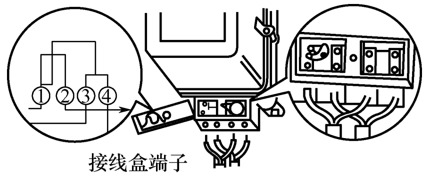
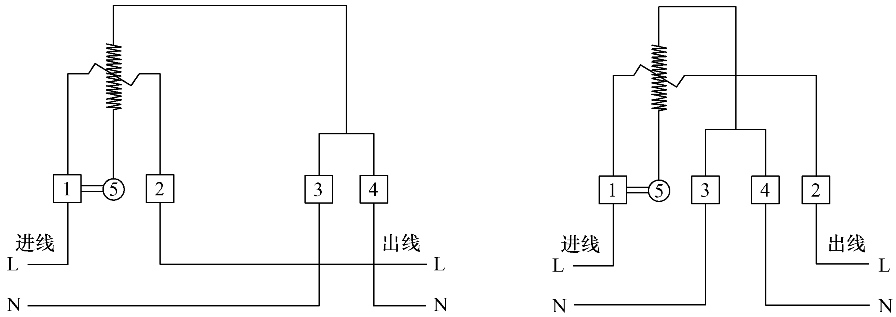


图 2-33　单相电度表的接线方法

直接接入法一般有两种接线方式，分别是跳线式和顺线式，如图 2-34 所示。无论何种接法，相线（火线）必须接入电度表的电流线圈的端子。由于有些电度表的接线特殊，具体方法需要参照接线端子盖板上的接线图进行接线。



（a）跳线式　　（b）顺线式

图 2-34　单相电度表接线方法

（2）经互感器接入法

若负载电流很大或电压很高，则应通过电流互感器或电压互感器才能接入电路。

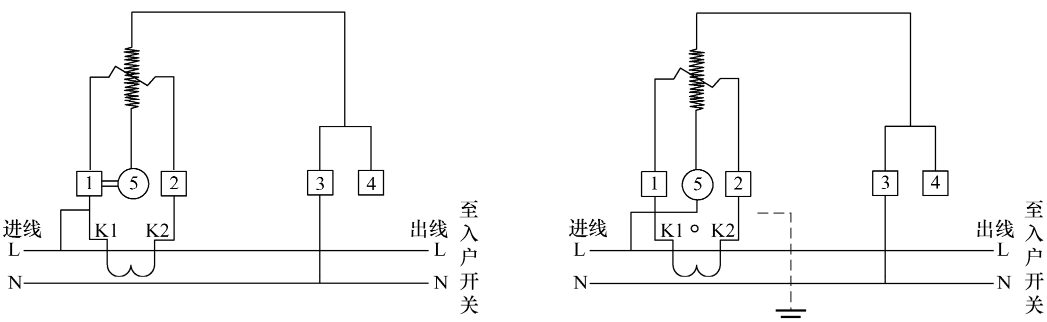
① 电流互感器。接线时应把电流互感器的初级与负载串联，次级与电度表的电流线圈串联。

② 电压互感器。接线时电压互感器初级与负载并联，次级与电度表的电压线圈并联。

③ 接线方法。单相电度表经互感器接入，接线方法有两种，如图 2-35 所示。

表内 5 和 1 端未断开时的接法：由于表内短接片没有断开，所以互感器的 K2 端子禁止接地，如图 2-35（a）所示。

表内 5 和 1 端已断开时的接法：由于表内短接片已断开，所以互感器的 K2 端子应该接地。同时，电压线圈应该接于电源两端，如图 2-35（b）所示。



（a）电度表内5和1端未断开的接法　　（b）电度表内5和1短接断开后的接法

图 2-35　单相电度表经互感器接入法

3）三相四线制电度表常用接法

机械式三相四线制有功电度表的常用接法有两种，即直接接入法和经互感器接入法。

（1）直接接入法

如果三相负载的功率在电度表允许的范围内，那么就可以采用直接接入法，如图 2-36 所示。

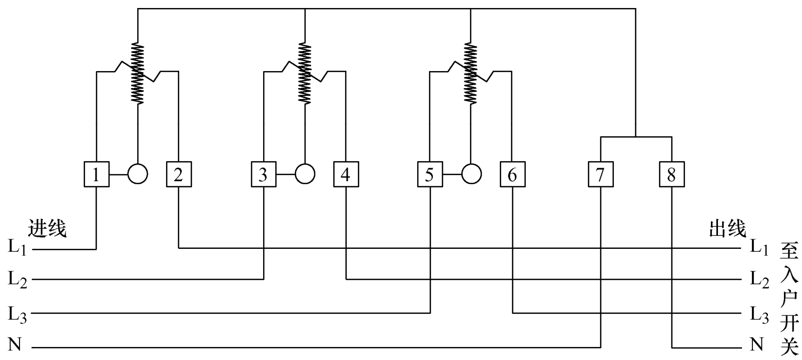


图 2-36　三相四线制电度表的直接接入法

（2）经互感器接入法

电度表测量大电流的三相电路的用电量时，因线路电流很大，如 300～500A，不可能采用直接接入法，应使用电流互感器进行电流变换，将大电流变换成小电流，即电度表能承受的电流，然后再进行计量，接法如图 2-37 所示。一般来说，电流互感器的二次侧电流都是 5A，如 300/5、100/5。

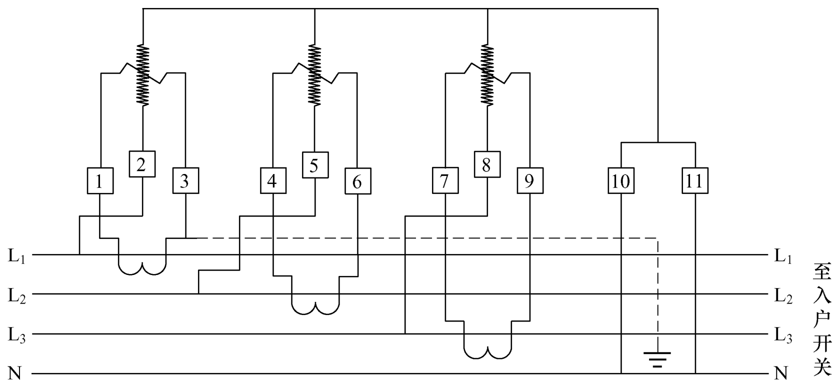


图 2-37　三相四线制电度表经互感器接入法

4）电度表的读数

① 对于直接接入电路的电度表及与所标明的互感器配套使用的电度表，被测电能均可从电度表中直接读数。当电度表上标有“10×千瓦小时”或“100×千瓦小时”字样，应将表的读数乘 10 或 100 倍即为被测电能值。

② 当配套使用的互感器变比和电度表标明的不同时，必须将电度表的读数进行换算才能表示被测电能值。例如，电度表上标注互感器变比为 10000/100V、100/5A，而实际使用的互感器变比为 10000/100V、50/5A，被测电能实际值应通过电度表读数除以 2 的换算。

③ 对于三相四线电度表，如果电度表最右边没有红色读数框，那黑色读数框的都是整数，只是在最右边（即个位数）的“计数轮”的右边带有刻度，而这个刻度就是小数点后的读数；如果是带有红色读数框的，那红色读数框所显示的是小数。

④ 如果电度表输出是不带电流互感器的，那表上显示的读数就是实际用电的计量读数，如果是计量带有互感器，则

实际用电量=实际读数×倍率

如 100/5 的互感器，那它的倍率为 20（即 100 除以 5）；如果是 200/5，倍率为 40，以此类推，把表上显示的读数再乘以这个倍率，就是实际使用的电量数，单位为 kWh（千瓦时，度）。

⑤ 互感器如果不只绕一匝，则

实际用电量=互感器倍率/互感器匝数×实际读数

互感器匝数指互感器内圈导线的条数，不指外圈。

一般计量收费时，大多不计小数位的读数。

实际工作中，经常利用有功电度表和无功电度表的月计量值算出用户的月平均功率因数。其计算方法举例如下。

【例 2-2】 某车间三月份有功电度表上消耗的有功电能为 3000kWh，无功电度表上无功电能为 1700kVarh。试求该用户的月平均功率因数 $\cos\phi$值。

解：

$$\because P_P=\frac{3000\text{kWh}}{1\text{h}}=3000\text{kW}$$

$$Q_P=\frac{1700\text{k var h}}{1\text{h}}=1700\text{k var}$$

$$\therefore \cos\phi=\frac{P}{S}=\frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}=\frac{3000}{\sqrt{3000^2+1700^2}}=0.87$$

5）电度表接线的注意事项

（1）正确接线

电度表的接线较为复杂，易于接错。一旦电度表电压线圈或电流线圈有一个接反，电表铝盘将会反转。因此，在接线前应查看说明书，根据说明书要求和接线图，把进线和出线依次对号接在电度表的对应端钮上。接线时必须遵守发电机端守则，即电流线圈和电压线圈的发电机端应共同接到电源的同一极性端子上。除此之外，还应注意电源相序，特别是无功电度表更应注意相序。

（2）正常反转情况

当发现电度表铝盘反转时，必须进行具体分析。有可能是接线错误引起，但并非所有的反转现象都是因接线错误的原因。下列情况的反转属正常现象。

① 装在双侧电源联络盘上的电度表，当一段母线向另一段母线输出电能改变为另一段母线向这段母线输送电能，电度表铝盘会出现反转现象。

② 用两只单相电度表测量三相三线有功负载，在电流与电压的相位差角大于 60°，即 $\cos\phi<0.5$ 时，其中一只电度表会出现反转现象。

提示：正常情况，电度表也有可能反转。

2.2.3 低压电器基本知识

低压电器是指在交流 50Hz、额定电压 1200V 以下及直流额定电压 1500V 以下的电路中，起通断、保护、控制或调节作用的电器，如各种刀开关、按钮、继电器、接触器等。低压电器作为基本器件，广泛应用于输配电系统中，在工农业生产、交通运输和国防工业中起着极其重要的作用。

1. 低压电器的种类

（1）按动作原理分类

① 手动电器：这类电器的动作是由工作人员手动操纵的，如刀开关、组合开关及按钮等。

② 自动电器：这类电器是按照操作指令或参量变化自动动作的，如接触器、继电器、熔断器和行程开关等。

（2）按用途和所控制的对象分类

① 低压控制电器：主要用于设备电气控制系统，用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器、电动机启动器等。

② 低压配电电器：主要用于低压配电系统中，用于电能的输送和分配的电器，如刀开关、转换开关、熔断器和自动开关、低压断路器等。

③ 低压主令电器：主要用于自动控制系统中发送动作指令的电器，如按钮、转换开关等。

④ 低压保护电器：主要用于保护电源、电路及用电设备，使它们不致在短路、过载等状态下运行遭到损坏的电器，如熔断器、热继电器等。

⑤ 低压执行电器：主要用于完成某种动作或传送功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

（3）按工作环境分类

① 一般用途低压电器：用于海拔高度不超过 2000m，周围环境温度在−25℃～40℃之间，空气相对湿度为 90%，安装倾斜度不大于 5°，无爆炸危险的介质及无显著摇动和冲击振动的场合的电器。

② 特殊用途电器：在特殊环境和工作条件下使用的各类低压电器，通常是在一般用途低压电器的基础上派生而成的，如防爆电器、船舶电器、化工电器、热带电器、高原电器及牵引电器等。

2. 低压电器的组成

低压电器一般有两个基本部分：一个是感受部分，它感受外界的信号，作出有规律的反应，在自动切换电器中，感受部分大多由电磁机构组成，在手控电器中，感受部分通常为操作手柄等；另一个是执行部分，如触点连同灭弧系统，根据指令，执行电路接通、切断等任务。对自动开关类的低压电器，还具有中间（传递）部分，它的任务是把感受和执行两部分联系起来，使它们协同一致，按一定的规律动作。但有些低压电器工作时，触点在一定条件下断开电流时往往伴随有电弧或火花，电弧或火花对断开电流的时间和触点的使用寿命都有极大的影响，特别是电弧，必须及时熄灭。故有些低压电器还有灭弧机构，用于熄灭电弧。

3. 低压电器的主要性能参数

① 额定电压：低压电器在规定条件下长期工作时，能保证电器正常工作的电压值，通常是指主触点的额定电压。有电磁机构的控制电器还规定了吸引线圈的额定电压。

② 额定电流：保证电器能正常工作的电流值。同一电器在不同的使用条件下，有不同的额定电流等级。

③ 通断能力：低压电器在规定的条件下，能可靠接通和分断的最大电流。通断能力与电器的额定电压、负载性质、灭弧方法等有很大关系。

④ 电气寿命：低压电器在规定条件下，在不需修理或更换零件时的负载操作循环次数。

⑤ 机械寿命：低压电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的负载操作次数。

2.2.4 开关电器

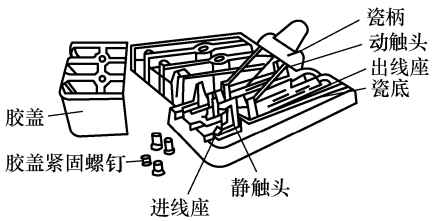
开关电器主要作隔离、转换及接通和分断电路用，多数用作机床电路的电源开关和局部照明电路的控制开关，有时也用来直接控制小容量电动机的启动、停止和正、反转。

1. 刀开关

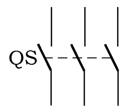
刀开关又称闸刀开关，它是一种手动控制器，结构最简单，通常由绝缘底板、动触刀、静触座、灭弧装置和操作机构组成。一般在不经常操作的低压电路中用作接通或切断电源或用来将电路与电源隔离，有时也用来直接控制小容量电动机的启动、停止和正、反转。常用的刀开关有 HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关（刀形转换开关）、HR 型熔断器式刀开关、HZ 型组合开关、HK 型闸刀开关、HY 型倒顺开关和 HH 型铁壳开关等。

（1）开启式负荷开关

开启式负荷开关又名胶盖刀开关，其结构、电气符号如图 2-38 所示。它由刀开关和熔断器组合而成，包含瓷地板、静触头、触刀、瓷柄、熔体和胶盖等。



（a）结构图



（b）电气符号

图 2-38 刀开关

这种开关因其无专门的灭弧装置易被电弧烧坏，因此不宜带负载接通或分断电路，故不宜频繁分、合电路。但其结构简单，价格低廉，常用作照明电路的电源开关，也用于 5.5kW 以下三相异步电动机不频繁启动和停止的控制。它是一种结构简单而应用广泛的电器。按极数不同，刀开关分单极、双极和三极三种。常用的 HK 系列刀开关的额定电压为 220V 或 380V，额定电流为 10～60A 不等。

对于照明和电热负载，可选用额定电压 220V 或 250V，额定电流大于所有负载额定电流的开关。对于电动机的控制，可选用额定电流大于电动机额定电流 3 倍的开关。

（2）刀开关在电路中的作用

① 隔离电源，以确保电路和设备维修的安全；或者作为不频繁地接通和分断额定电流以下的负载用。

② 分断负载，如不频繁地接通和分断容量不大的低压电路或直接启动小容量电动机。

③ 刀开关处于断开位置时，可明显观察到，能确保电路检修人员的安全。

（3）安装方法

① 选择开关前，应注意检查动刀片对静触点接触是否良好、是否同步。如有问题，应予以修理或更换。

② 电源进线应接在静触头一边的进线端（进线座应在上方），用电设备应接在动触头一边的出线端。这样，当开关断开时，闸刀和熔体均不带电，以保证更换熔体时的安全。

③ 安装时，刀开关在合闸状态下手柄应该向上，不能倒装和平装，以防止闸刀松动落下时误合闸。

（4）注意事项

① 安装后应检查闸刀和静触头是否成直线和紧密可靠连接。

② 更换熔丝时，必须先拉闸断电后，按原规格安装熔丝。

③ 胶壳刀开关不适合用来直接控制 5.5kW 以上的交流电动机。

④ 合闸、拉闸动作要迅速，使电弧很快熄灭。

2. 半封闭式负荷开关

半封闭式负荷开关又名铁壳开关，其结构如图 2-39 所示。它由刀开关、熔断器、灭弧机构、操作机构和钢板（或铸铁）做成的外壳构成。这种开关的操作机构中，在手柄转轴与底座间装有速断弹簧，使刀开关的接通和断开速度与手柄操作速度无关，这样有利于迅速灭弧。为了保证用电安全，它还装有机械联锁装置，必须将壳盖闭合后，手柄才能（向上）合闸；只有当手柄（向下）拉闸后，壳盖才能打开。

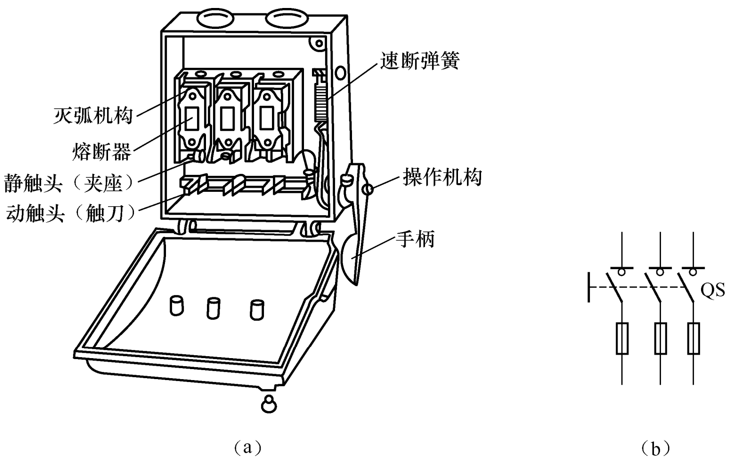


图 2-39　铁壳开关结构图和图形符号

使用铁壳开关应注意下列事项：

① 对于电热和照明电路，铁壳开关可以根据额定电流选择；对于电动机，开关额定电流可选电动机额定电流的 3 倍。

② 外壳应可靠接地，以防止意外漏电造成触电事故。

3. 组合开关

组合开关包括转换开关和倒顺开关。其特点是用动触片的旋转代替闸刀的推合和拉开，实质上是一种由多组触点组合而成的刀开关。这种开关可用作交流 50Hz、380V 和直流 220V 以下的电路电源引入开关或控制 5.5kW 以下小容量电动机的直接启动，以及电动机正、反转控制和机床照明电路控制。额定电流有 6A、10A、15A、25A、60A、100A 等多种。在电气设备中主要作为电源引入开关，用于非频繁接通和分断电路。在机床电气系统中，组合开关

多用作电源开关，一般不带负载接通或断开电源，而是在开车前空载接通电源，在应急、检修或长时间停用时空载断开电源。其优点是体积小、寿命长、结构简单、操作方便、灭弧性能较好，多用于机床控制电路。

（1）转换开关

转换开关的接触系统由数个装嵌在绝缘壳体内的静触头座和可动支架中的动触头构成。动触头是双断点对接式的触桥，在附有手柄的转轴上，随转轴旋至不同位置使电路接通或断开。定位机构采用滚轮卡棘轮结构，配置不同的限位件，可获得不同挡位的开关。转换开关由多层绝缘壳体组装而成，可立体布置，减小了安装面积，结构简单、紧凑，操作安全可靠。

HZ5-30/3 转换开关的外形、结构及电气符号如图 2-40 所示。它主要由手柄、转轴、凸轮、动触片、静触片及接线柱等组成。当转动手柄时，每层的动触片随方形转轴一起转动，使动触片插入静触片中，使电路接通；或使动触片离开静触片，使电路分断。各极是同时通断的。为了使开关在切断电路时能迅速灭弧，在开关转轴上装有扭簧储能机构，使开关能快速接通与断开，从而提高了开关的通断能力。

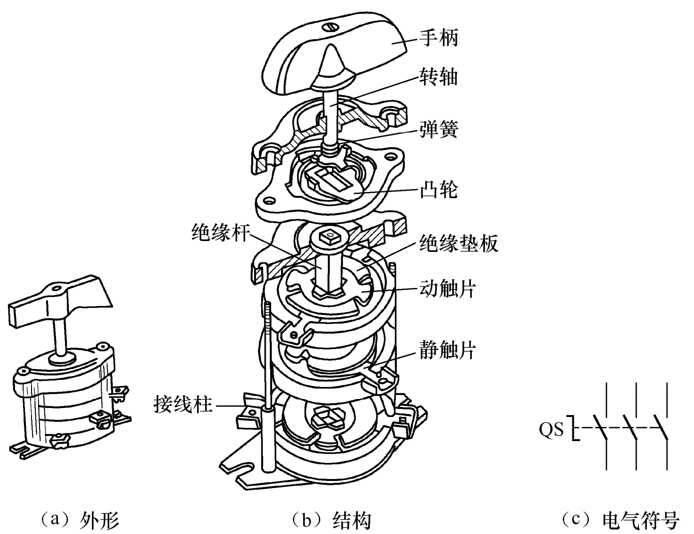


图 2-40　转换开关

（2）倒顺开关

其外形、结构和电气符号如图 2-41 所示，多用于机床的进刀、退刀，电动机的正、反转和停止的控制或升降机的上升、下降和停止的控制，也可作为控制小电流负载的负荷开关。

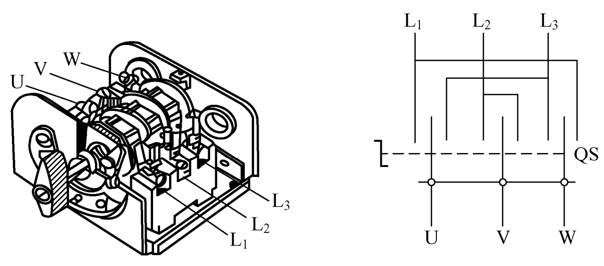


图 2-41　倒顺开关

（3）组合开关的选用

① 选用转换开关时，应根据电源种类、电压等级、所需触点数及电动机的容量来选用，开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5～2 倍。

② 用于一般照明、电热电路，其额定电流应大于或等于被控电路的负载电流总和。

③ 当用作设备电源引入开关时，其额定电流应稍大于或等于被控电路的负载电流总和。

④ 当用于直接控制电动机时，其额定电流一般可取电动机额定电流的 2～3 倍。

（4）安装方法

① 安装转换开关时应使手柄保持平行于安装面。

② 转换开关需安装在控制箱（或壳体）内时，其操作手柄最好伸出在控制箱的前面或侧面，应使手柄在水平旋转位置时为断开状态。

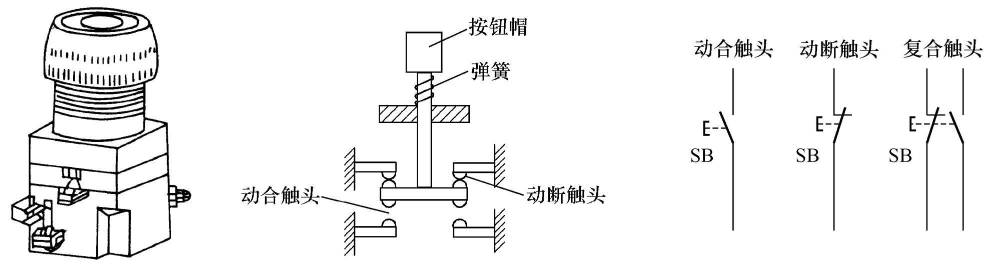
③ 若需在控制箱内操作时，转换开关最好装在箱内右上方，而且在其上方不宜安装其他电器，否则应采取隔离或绝缘措施。

2.2.5　主令电器

用于发送动作指令的电器称为主令电器。常用的主令电器有按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关等几种。

1. 按钮

按钮是一种短时接通或断开小电流电路的手动电器，常用于控制电路中发出启动或停止等指令，按钮的外形图、原理图和图形符号如图 2-42 所示。它由按钮帽、复位弹簧、桥式动触头、静触头和外壳等组成。其触点允许通过的电流很小，一般不超过 5A。



（a）外形图　　（b）结构和原理示意图　　（c）符号

图 2-42　按钮开关

常开按钮（启动按钮）：手指未按下时，触头是断开的；当手指按下时，触头接通；手指松开后，在复位弹簧作用下触头又返回原位断开。

常闭按钮（停止按钮）：手指未按下时，触头是闭合的；当手指按下时，触头被断开；手指松开后，在复位弹簧作用下触头又返回原位闭合。

复合按钮：将常开按钮和常闭按钮组合为一体。当手指按下时，其常闭触头先断开，然后常开触头闭合；手指松开后，在复位弹簧作用下触头又返回原位。它常用在控制电路中作电气联锁。

为便于识别各个按钮的作用，避免误操作，通常在按钮帽上作出不同标记或涂上不同颜色，如蘑菇形表示急停按钮，红色表示停止按钮，绿色表示启动按钮等。

按钮安装在面板上时，应布置合理，排列整齐。可根据生产机械或机床启动、工作的先后顺序，从上到下或从左至右依次排列。如果它们有几种工作状态，如上、下，前、后，左、右，松、紧等，则应使每一组正、反状态的按钮安装在一起。

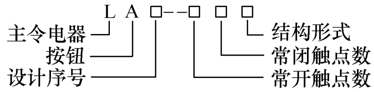
常见按钮有 LA 系列和 LAY1 系列。LA 系列按钮的额定电压为交流 500V、直流 440V，额定电流为 5A；LAY1 系列按钮的额定电压为交流 380V、直流 220V，额定电流为 5A。按钮帽有红、绿、黄、白等颜色，一般红色用作停止按钮，绿色用作启动按钮。按钮主要根据所需要的触点数、使用场合及颜色来选择。按钮颜色的含义如表 2-5 所示。

表 2-5　按钮颜色及其含义

颜　色	颜 色 含 义	典 型 应 用
红	急情出现时动作	急停
红	停止或断开	① 总停 ② 停止一台或几台电动机 ③ 停止机床的一部分 ④ 停止循环（如果操作者在循环期间按此按钮，机床在有关循环完成后停止） ⑤ 断开开关装置 ⑥ 兼有停止作用的复位
黄	干预	排除反常情况或避免不希望的变化，当循环尚未完成，把机床部件返回到循环起始点按压黄色按钮可以超越预选的其他功能
绿	启动或接通	① 总启动 ② 开动一台或几台电动机 ③ 开动机床的一部分 ④ 开动辅助功能 ⑤ 闭合开关装置 ⑥ 接通控制电路
蓝	红黄绿三种颜色未包含的任何特定含义	① 红、黄、绿未包括的特殊情况可以用蓝色 ② 蓝色：复位
黑、灰、白	无专门指定功能	除专用“停止”功能按钮外，可用于任何功能，如黑色为点动，白色为控制与工作循环无直接关系的辅助功能

提示：在选择和安装按钮时，要注意其颜色，尤其是紧急状态使用的按钮不能用错。

按钮开关的型号及含义如下：



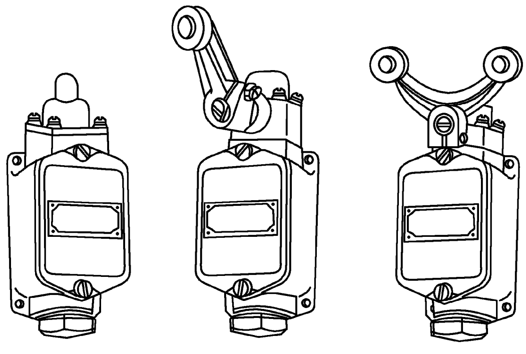
注：不同结构形式的按钮，分别用不同的字母表示：如 K—开启式；S—防水式；H—保护式；F—防腐式；J—紧急式；X—旋钮式；Y—钥匙式；D—带指示灯式；DJ—紧急式带指示灯式。

2. 行程开关

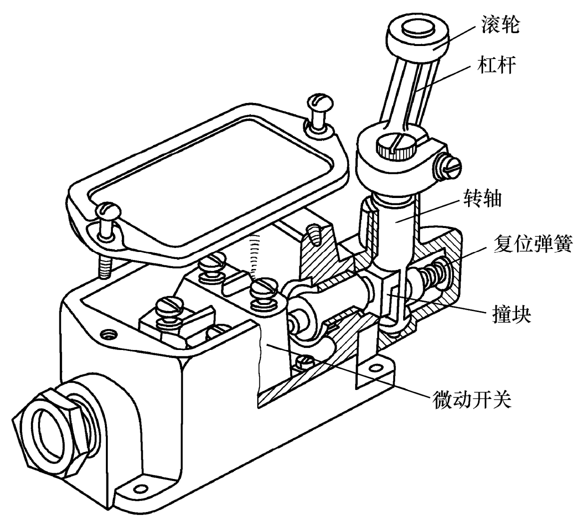
行程开关又称限位开关，是一种小电流的控制器。它是根据运动部件的位置而切换的电

器，可将机械信号转换为电信号。它的原理与按钮类似，利用生产机械运动部件的碰压使其触头动作，从而将机械信号转变为电信号。使运动机械实现自动停止、反向运动、自动往复运动、变速运动等控制要求。

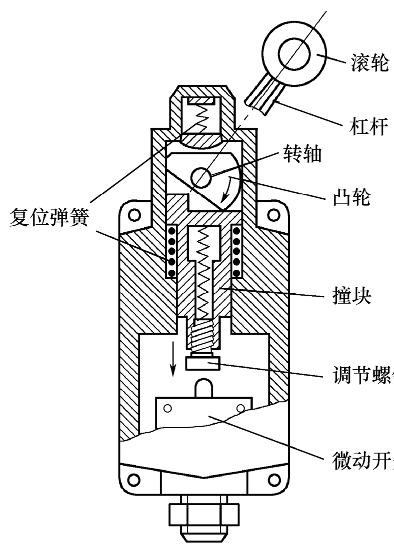
各系列行程开关的结构基本相同，主要由触头系统、操作机构和外壳组成。行程开关按其结构可分为按钮式（又称直动式）、旋转式（又称滚轮式）和微动式三种。结构图和图形符号如图 2-43 所示。行程开关动作后，复位方式有自动复位和非自动复位两种。按钮式和单轮旋转式行程开关为自动复位式，双轮旋转式行程开关没有复位弹簧，在挡铁离开后不能自动复位，必须由挡铁从反方向碰撞后开关才能复位。



（a）外形



（b）结构



（c）动作原理



（d）图形符号

图 2-43　结构图和图形符号

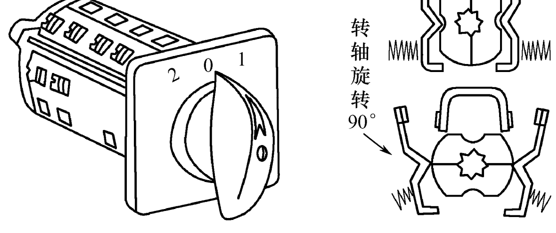
提示：行程开关是利用行程控制原则来实现生产机械电气自动化的重要电器。

3. 万能转换开关

万能转换开关是具有更多操作位置和触点，能换接多个电路的一种手控电器。因它能控制多个电路，适应复杂电路要求，故称“万能”转换开关。万能转换开关主要用于控制电路换接，也可用于小容量电动机的启动、换向、调速和制动控制。

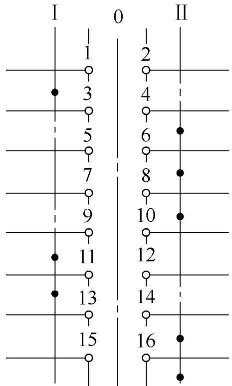
万能转换开关的结构如图 2-44 所示，它由触点座、凸轮、转轴、定位结构、螺杆和手柄等组成，并由 1～20 层触点底座叠装，其中每层底座均装三对触点，并由触点底座中的凸轮（套在转轴上）来控制三对触点的接通和断开。由于凸轮可制成不同形状，因此转动手柄到不同位置时，通过凸轮作用，可使各对触点按所需的变化规律接通或断开，以达到换接电路。

万能转换开关在电路中的符号如图 2-45 所示，中间的竖线表示手柄的位置，当手柄处于某一位置时，处在接通状态的触头下方虚线上标有小黑点。触头的通断状态也可以用所示的触头分合表来表示，“+”号表示触头闭合，“-”表示触头断开。



（a）外形　（b）触头通断示意图

图 2-44



（a）符号

触头标号	I	0	II
1–2	+		
3–4			+
5–6			+
7–8			+
9–10	+		
11–12	+		
13–14			+
15–16			+

（b）触头通断表

图 2-45

常用的万能转换开关有 LW2、LW5、LW6、LW8 等系列。选用万能开关时，可从以下几方面入手：若用于控制电动机，则应预先知道电动机的内部接线方式，根据内部接线方式、接线指示牌及所需要的转换开关断合次序表，画出电动机的接线图，只要电动机的接线图与转换开关的实际接法相符即可。另外，需要考虑额定电流是否满足要求。若用于控制其他电路时，则只需考虑额定电流、额定电压和触头对数。

提示：万能转换开关一定要配合其触头通断表来使用。

2.2.6　熔断器

熔断器是一种结构简单、使用方便、价格低廉的保护电器，广泛用于供电线路和电气设备的短路保护电路中。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，当电路发生短路或严重过载时，它的熔体能自动迅速熔断，从而切断电路，使导线和电气设备不致损坏。

熔断器按其结构形式分为插入式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式等，其品种规格很多。其熔断器的结构如图 2-46 所示。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它有明显的分断指示，不用任何工具就可取下或更换熔体。最近推出的新产品有 RL9、RL7 系

列，可以取代老产品 RL1、RL2 系列。RLS2 系列是快速熔断器，用以保护半导体硅整流元件及晶闸管，可取代老产品 RLS1 系列。

1. 瓷插式熔断器

瓷插式熔断器也称为半封闭插入式熔断器，它主要由瓷座、瓷盖、静触头、动触头和熔丝等组成，熔丝安装在瓷插件内。熔丝通常用铅锡合金或铅锑合金等制成，也有的用铜丝作熔丝。常用 RC1A 系列瓷插式（插入式）熔断器的结构和电气符号如图 2-46 所示。

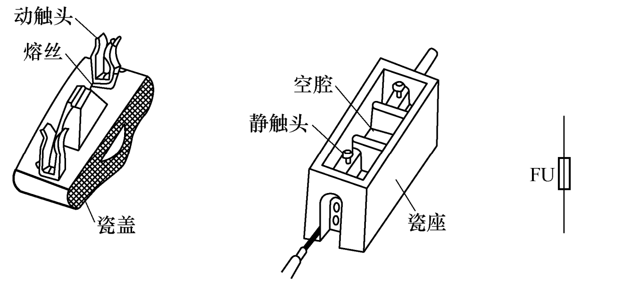


图 2-46　RC1A 系列瓷插式（插入式）熔断器

瓷座中部有一空腔，与瓷盖的凸出部分组成灭弧室。60A 以上的瓷插式熔断器空腔中还垫有纺织石棉层，用以增强灭弧能力。该系列熔断器具有结构简单、价格低廉、体积小、带电更换熔丝方便等优点，且具有较好的保护特性，主要用于交流 400V 以下的照明电路中作为保护电器。但其分断能力较小，电弧较大，只适用于小功率负载的保护，城市趋于淘汰的状况。

常用的型号有 RC1A 系列，其额定电压为 380V，额定电流有 5A、10A、15A、30A、60A、100A、200A 7 个等级。

2. 螺旋式熔断器

螺旋式熔断器主要由瓷帽、熔断管、瓷套、上接线端、下接线端和底座等组成，熔丝安装在熔断体的瓷质熔管内，熔管内部充满起灭弧作用的石英砂。熔断体自身带有熔体熔断指示装置。螺旋式熔断器是一种有填料的封闭管式熔断器，结构较瓷插式熔断器复杂，其结构如图 2-47 所示。

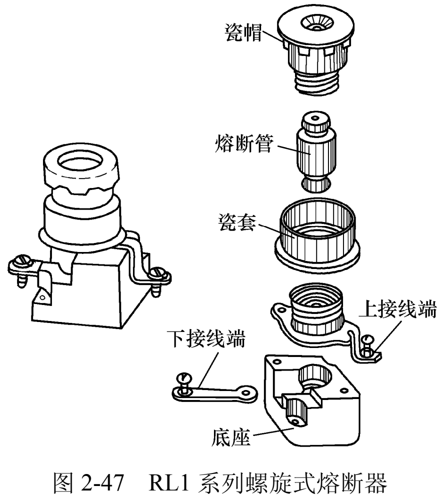


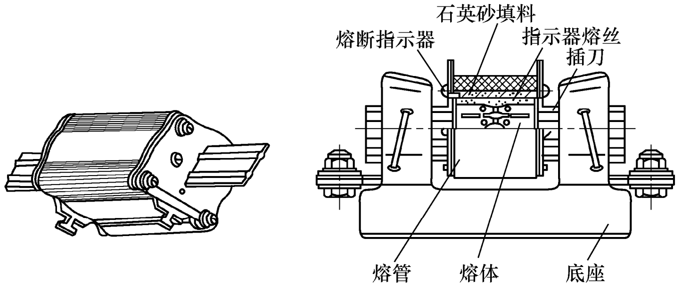
图 2-47　RL1 系列螺旋式熔断器

3. 有填料封闭管式熔断器

有填料封闭管式熔断器的结构如图 2-48 所示。它由瓷底座、熔体两部分组成，熔体安放在瓷质熔管内，熔管内部充满石英砂作为灭弧用。

4. 无填料封闭管式熔断器

无填料封闭管式熔断器的结构如图 2-49 所示。这种熔断器主要用于低压电力网及成套配电设备中。无填料封闭管式熔断器由夹座、熔断管、熔体等组成。其主要型号有 RM10 系列。



（a）熔管　　（b）整体结构

图 2-48　有填料封闭管式熔断器

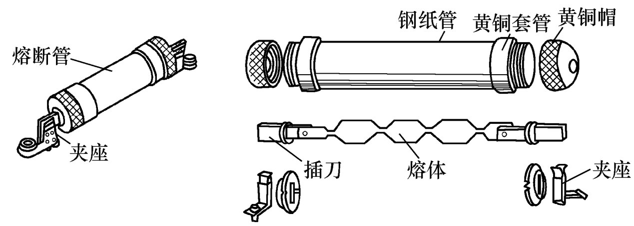


图 2-49　无填料封闭管式熔断器

5. 熔断器的主要参数

① 额定电压：这是从灭弧角度出发，规定熔断器所在电路工作电压的最高限额。如果线路的实际电压超过熔断器的额定电压，一旦熔体熔断，则有可能发生电弧不能及时熄灭的现象。

② 额定电流：实际上是指熔座的额定电流，这是由熔断器长期工作所允许的温升决定的电流值。配用的熔体的额定电流应小于或等于熔断器的额定电流。

③ 熔体的额定电流：熔体长期通过此电流而不熔断的最大电流。生产厂家生产不同规格（额定电流）的熔体供用户选择使用。

④ 极限分断能力：熔断器所能分断的最大短路电流值。分断能力的大小与熔断器的灭弧能力有关，而与熔断器的额定电流值无关。熔断器的极限分断能力必须大于线路中可能出现的最大短路电流值。

6. 熔断器的选择

熔断器应根据各种常用熔断器的特点、应用场所及实际应用的具体要求来确定。熔断器在使用中选用恰当，才能既保证电路正常工作又能起到保护作用。在选用熔断器的具体参数时，应使熔断器的额定电压大于或等于被保护电路的工作电压;其额定电流大于或等于所装熔体的额定电流，如表 2-6 所示。

表 2-6　RL 系列熔断器技术数据

型号	熔断器额定电流/A	可装熔丝的额定电流/A	型号	熔断器额定电流/A	可装熔丝的额定电流/A
RL15	15	2、4、5、6、10、15、	RL100	100	60、80、100
RL60	60	20、25、30、35、40、50、60	RL200	200	100、125、150、200

熔体的额定电流是指相当长时间流过熔体而不熔断的电流。额定电流值的大小与熔体线径的粗细有关，熔体线径越粗，额定电流值越大。表 2-7 列出了熔体熔断的时间。

表 2-7　熔体熔断的时间

熔断电流倍数	1.25～1.3	1.6	2	3	4	8
熔断时间	∞	1h	40s	4.6s	2.6s	瞬时

用于电炉、照明等阻性负载电路的短路保护时，熔体额定电流不得小于负载额定电流；用于单台电动机短路保护时，熔体额定电流=（1.5～2.5）×电动机额定电流；用于多台电动机短路保护时，熔体额定电流=（1.5～2.5）×容量最大的一台电动机的额定电流+其余电动机额定电流总和。

7. 熔断器的安装方法

安装熔断器时必须在断电情况下操作；安装时熔断器必须完整无损（不可拉长），接触紧密可靠，但也不能绷紧；熔断器应安装在线路的各相线（火线）上，在三相四线制的中性线上严禁安装熔断器，在单相二线制的中性线上应安装熔断器；螺旋式熔断器在接线时，为了更换熔断管时的安全，下接线端应接电源，而连螺口的上接线端应接负载。

8. 熔断器的常见故障及维修

熔断器的常见故障及处理方法如表 2-8 所示。

表 2-8　熔断器的常见故障及处理方法

故 障 现 象	可 能 原 因	处 理 方 法
电路接通瞬间，熔体熔断	（1）熔体电流等级选择过小 （2）负载侧短路或接地 （3）熔体安装时受机械损坏	（1）更换熔体 （2）排除负载故障 （3）更换熔体
熔体未见熔断，但电路不通	熔体或接线座接触不良	重新接线

提示：不得随意更改熔断器熔体的大小或用其他金属材料来代替熔体，熔断器一般作为电路的短路保护器件。

2.2.7　低压断路器

低压断路器又称自动空气开关，它相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠压继电器的组合，是一种既能进行手动操作，又能自动进行欠压、失压、过载和短路保护的控制电器。

1. 断路器的结构

断路器的结构有框架式（又称万能式）和塑料外壳式（又称装置式）两大类。其结构图如图 2-50 所示。框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置。塑料外壳式断路器的特点是各部分元件均安装在塑料壳体内，具有良好的安全性，结构紧凑简单，可独立安装，常用作供电线路的保护开关和电动机或照明系统的控制开关，也广泛用于电器控制设备及建

筑物内作电源线路保护及对电动机进行过载和短路保护。

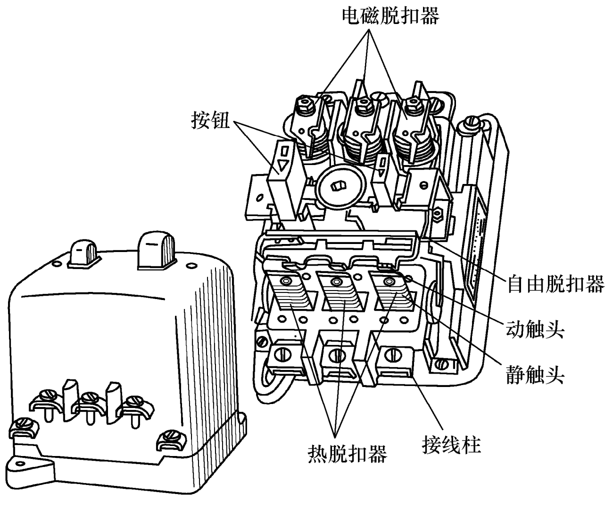
低压断路器一般由触点系统、灭弧系统、操作系统、脱扣器及外壳或框架等组成。各组成部分的作用如下。

触点系统：用于接通和断开电路。触点的结构形式有对接式、桥式和插入式三种，一般采用银合金材料和铜合金材料制成。

灭弧系统：有多种结构形式，采用的灭弧方式有窄缝灭弧和金属栅灭弧。

操作机构：用于实现断路器的闭合与断开，有手动操作机构、电动机操作机构和电磁操作机构等。

脱扣机构：断路器的感测元件，用来感测电路特定的信号（如过电压、过电流等）。电路一旦出现非正常信号，相应的脱扣器就会动作，通过联动装置使断路器自动跳闸而切断电路。



（a）外形　　（b）结构

图 2-50　DZ5-20 型装置式自动开关的外形及结构

2. 低压断路器的工作原理

低压断路器的工作原理示意图、图形符号和文字符号如图 2-51 所示。

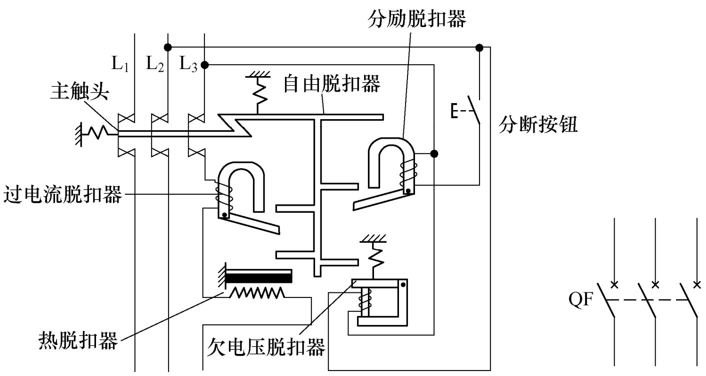


图 2-51　低压断路器的工作原理示意图、图形符号和文字符号

当主触点闭合后，若电路发生短路或过电流（电流达到或超过过电流脱扣器动作值）事故时，过电流脱扣器的衔铁吸合，驱动自由脱扣器动作，主触头在弹簧的作用下断开;当电路过载时（L_3 相)，热脱扣器的热元件发热，使双金属片产生足够的弯曲，推动自由脱扣器动作，从而使主触头断开，切断电路;当电源电压不足（小于欠电压脱扣器释放值）时，欠电压脱扣器的衔铁释放，使自由脱扣器动作，主触头断开而切断电路。分励脱扣器用于远距离切断电路，当需要分断电路时，按下分断按钮，分励脱扣器线圈通电，衔铁驱动自由脱扣器动作，使主触头断开而切断电路。

3. 断路器的选用

断路器的额定电压和额定电流应分别不小于电路的额定电压和最大工作电流。

脱扣器整定电流的计算：热脱扣器的整定电流应与所控制负载（如电动机等）的额定电流一致。电磁脱扣器的瞬时动作整定电流应大于负载电路正常工作的最大电流；对于单台电动机来说，DZ 系列自动空气开关电磁脱扣器的瞬时动作整定电流 I_z 可按下式计算：

$$I_z \geqslant K \times I_q$$

式中，K 为安全系数，可取 1.5～1.7；I_q 为电动机的启动电流。

对于多台电动机来说，可按下式计算：

$$I_z \geqslant K \times I_{qmax} + \text{电路中其他电动机的额定电流}$$

式中，K 也可取 1.5～1.7；I_{qmax} 为最大一台电动机的启动电流。

断路器用于电动机保护时，一般电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应为电动机启动电流的 1.7 倍；选用断路器作多台电动机短路保护时，一般电磁脱扣器的整定电流为容量最大的一台电动机启动电流的 1.3 倍再加上其余电动机额定电流；分断或接通电路时，其额定电流和热脱扣器的整定电流均应等于或大于电路中负载额定电流的 2 倍；选择断路器时，在类型、等级、规格等方面要配合上、下级开关的保护特性，不允许因下级保护失灵而导致上级跳闸，扩大停电范围。

2.2.8　接触器

接触器是一种通用性很强的自动电磁式开关电器，是电力拖动与自动控制系统中一种重要的低压电器。它可以频繁地接通和分断交、直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机，也可用于控制其他设备，如电焊机、电阻炉和照明器具等电力负载。它利用电磁力的吸合和反向弹簧力作用使触点闭合和分断，从而使电路接通和断开。它具有欠电压释放保护及零压保护，控制容量大，可运用于频繁操作和远距离控制，且工作可靠，寿命长，性能稳定，维护方便，接触器不能切断短路电流，因此通常需要与熔断器配合使用。

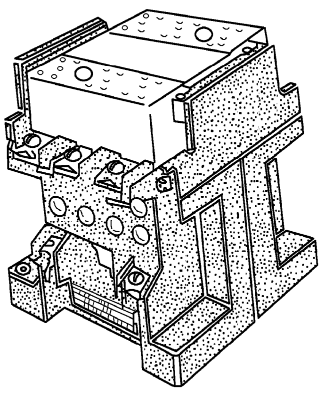
接触器按主触头通过的电流种类分为交流接触器和直流接触器两种。下面以交流接触器为例。

1. 结构与工作原理

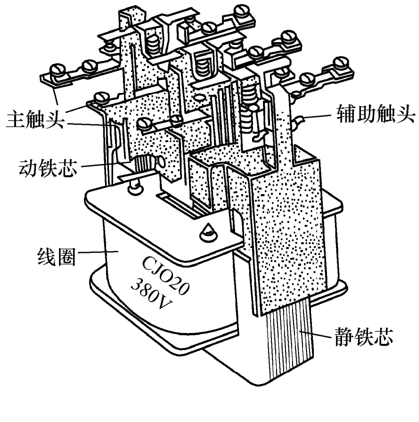
交流接触器由电磁机构、触头系统和灭弧系统三部分组成。电磁系统是接触器的重要组成部分，它由线圈、铁芯（静触头）和衔铁（动触头）三部分组成，图 2-52 为 CJ20 接触器电磁系统结构图。其作用是利用电磁线圈的通电或断电，使衔铁和铁芯吸合或释放，从而带动动触头与静触头接通或断开，实现接通或断开电路的目的。

交流接触器的线圈是由漆包线绕制而成的，以减少铁芯中的涡流损耗，避免铁芯过热。交流接触器的铁芯和衔铁一般用 E 形硅钢片叠压铆成。同时交流接触器为了减少吸合时的振动和噪声，在铁芯上装有一个短路的铜环作为减震器，使铁芯中产生了不同相位的磁通量 Φ_1、Φ_2，以减少交流接触器吸合时的振动和噪声，其材料一般为铜、康铜或镍铬合金。

触头系统用来直接接通和分断所控制的电路，根据用途不同，接触器的触头分主触头和辅助触头两种。主触头通常为三对，构成三个常开触头，用于通断主电路，通过的电流较大，接在电动机主电路中。辅助触头一般有常开、常闭各两对，用在控制电路中起电气自锁及互锁作用。辅助触头通过的电流较小，通常接在控制回路中。



（a）外形



（b）结构

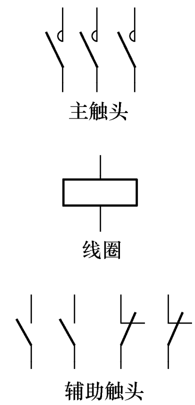


图 2-52　交流接触器

当接触器触头断开电路时，若电路中动、静触头之间的电压超过 10～12V，电流超过 80～100mA，则动、静触头之间将出现强烈火花，这实际上是一种空气放电现象，通常称为“电弧”。随着两触头间距离的增大，电弧也相应地拉长，不能迅速切断。由于电弧的温度高达 3000℃或更高，导致触头被严重烧灼，缩短了电器的寿命，给电气设备的运行安全和人身安全等都造成了极大的威胁，因此，我们必须采取有效方法，尽可能消灭电弧。常采用的灭弧方法和灭弧装置如下。

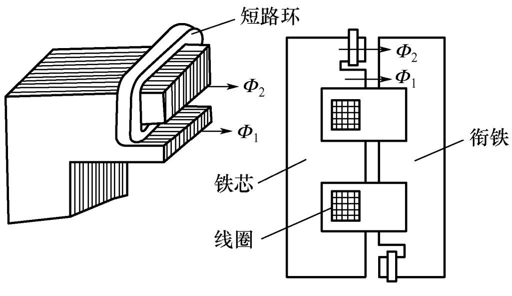


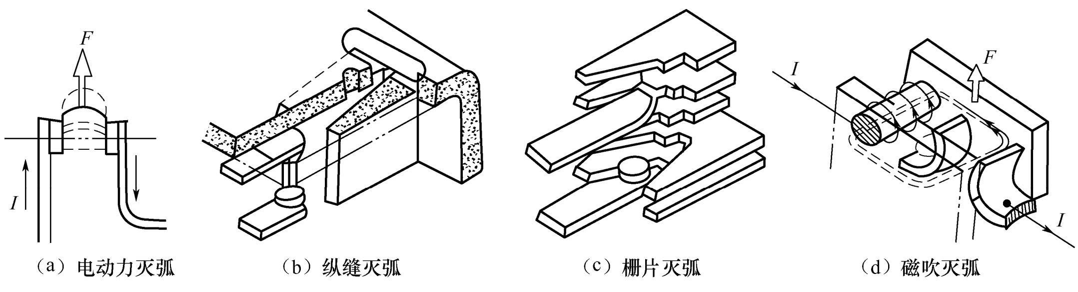
图 2-53　交流接触器的短路环

电动力灭弧：电弧在触头回路电流磁场的作用下，受到电动力作用拉长，并迅速离开触头而熄灭，如图 2-54（a）所示。

纵缝灭弧：电弧在电动力的作用下，进入由陶土或石棉水泥制成的灭弧室窄缝中，电弧与室壁紧密接触，被迅速冷却而熄灭，如图 2-54（b）所示。

栅片灭弧：电弧在电动力的作用下，进入由许多定间隔的金属片所组成的灭弧栅之中，电弧被栅片分割成若干段短弧，使每段短弧上的电压达不到燃弧电压，同时栅片具有强烈的冷却作用，致使电弧迅速降温而熄灭，如图 2-54（c）所示。

磁吹灭弧：灭弧装置设有与触头串联的磁吹线圈，电弧在吹弧磁场的作用下受力拉长，吹离触头，加速冷却而熄灭，如图 2-54（d）所示。



（a）电动力灭弧　（b）纵缝灭弧　（c）栅片灭弧　（d）磁吹灭弧

图 2-54　接触器的灭弧措施

2. 接触器的基本技术参数与型号含义

（1）额定电压

接触器额定电压是指主触头上的额定电压。其电压等级如下。

交流接触器：220V、380V、500V；直流接触器：220V、440V、660V。

（2）额定电流

接触器额定电流是指主触头的额定电流。其电流等级如下。

交流接触器：10A、15A、25A、40A、60A、150A、250A、400A、600A，最高可达 2500A；直流接触器：25A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。

（3）线圈的额定电压

其电压等级如下。

交流线圈：36V、110V、127V、220V、380V；直流线圈：24V、48V、110V、220V、440V。

（4）额定操作频率

额定操作频率即每小时通断次数。交流接触器可高达 6000 次/h，直流接触器可达 1200 次/h。电气寿命达 500～1000 万次。

3. 接触器的选用

接触器主触头的额定电压应大于或等于负载电路的额定电压；主触头的额定电流应大于负载电路的额定电流，或者根据经验公式计算，计算公式如下：

$$I_C=P_N\times103/KU_N$$（适用于 CJ0、CJ10 系列）

式中　K——经验系数，一般取 1～1.4;

P_N——电动机额定功率（kW）;

U_N——电动机额定电压（V）;

I_C——接触器主触头电流（A）。

如果接触器控制的电动机启动、制动或正、反转较频繁，则一般将接触器主触头的额定电流降一级使用。

接触器线圈的额定电压不一定等于主触头的额定电压，从人身安全和设备安全角度考虑，线圈电压可选择低一些;但当控制线路简单，线圈功率较小时，为了节省变压器，可选 220V 或 380V。

4. 接触器的安装方法

接触器安装前应检查线圈的额定电压等技术数据是否与实际使用相符，然后将铁芯端面上的防锈油脂或锈垢用汽油擦净，以免多次使用后被油垢粘住，造成接触器断电时不能释放触头；接触器安装时，一般应垂直安装，其倾斜度不得超过 5°，否则会影响接触器的动作特性。安装有散热孔的接触器时，应将散热孔放在上下位置，以利于线圈散热；接触器安装与接线时，注意不要把杂物失落到接触器内，以免引起卡阻而烧毁线圈，同时应将螺钉拧紧，以防振动松脱。

5. 维护及常见故障处理

接触器的触头应定期清扫并保持整洁，但不得涂油，当触头表面因电弧作用形成金属小

珠时应及时铲除，但银及银合金触头表面产生的氧化膜，由于接触电阻很小，可不必修复。

触头过热的主要原因有接触压力不足，表面接触不良，表面被电弧灼伤等，造成触头接触电阻过大，使触头发热。

触头磨损有两种原因，一是电气磨损，由于电弧的高温使触头上的金属氧化和蒸发所致;二是机械磨损，由于触头闭合时的撞击，触头表面相对滑动摩擦所致。

线圈失电后触头不能复位，其原因有触头被电弧熔焊在一起；铁芯剩磁太大，复位弹簧弹力不足；活动部分被卡住等。

衔铁振动有噪声的主要原因有短路环损坏或脱落;衔铁歪斜;铁芯端面有锈蚀尘垢，使动、静铁芯接触不良；复位弹簧弹力太大；活动部分有卡滞，使衔铁不能完全吸合等。

线圈过热或烧毁的主要原因有线圈匝间短路;衔铁吸合后有间隙；操作频繁，超过允许操作频率；外加电压高于线圈额定电压等。

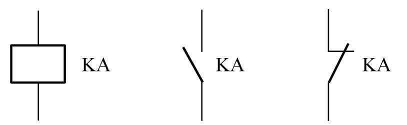
2.2.9 继电器

继电器主要用于控制与保护电路中进行信号转换。继电器具有输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称执行元件），当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时继电器动作，执行元件便接通和断开控制回路。

控制继电器种类繁多，常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器，以及温度、压力、计数、频率继电器等。

电压、电流继电器和中间继电器属于电磁式继电器。其结构、工作原理与接触器相似，由电磁系统、触头系统和释放弹簧等组成。由于继电器用于控制电路，流过触头的电流小，故不需要灭弧装置。

电磁式继电器的图形和文字符号如图 2-55 所示。



（a）线圈　（b）常开触头　（c）常闭触头

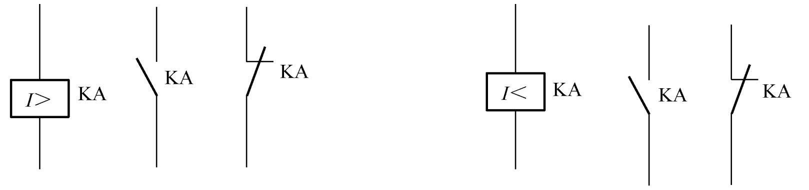
图 2-55　电磁式继电器的图形和文字符号

1. 电流继电器

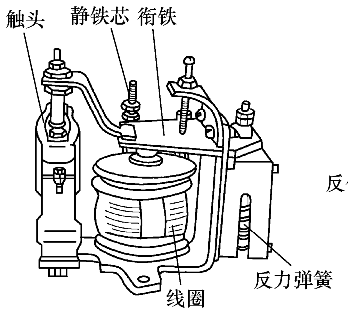
根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器，按用途不同还可分为过电流继电器和欠电流继电器。其图形符号和文字符号如图 2-56 所示。过电流继电器的任务是当电路发生短路及过流时立即将电路切断。当过电流继电器线圈通过的电流小于整定电流时，继电器不动作；只有超过整定电流时，继电器才动作。欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断。当欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于整定电流时，继电器吸合；只有电流低于整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器一般是自动复位的。

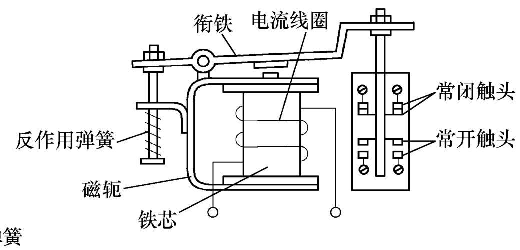
2. 电压继电器

电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。按用途不同还可分为过电压继电器、欠电压继电器和零电压继电器。其图形符号和文字符号如图 2-57 所示。过电压继电器是当电压大于其电压整定值时动作的电压继电器，主要用于电路或设备的过电压保护。欠电压继电器是当电压小于其电压整定值时动作的电压继电器，主要用于电路或设备的欠电压保护。零电压继电器是欠电压继电器的一种特殊形式，是当继电器的端电压降至或接近消失时才动作的电压继电器。



（a）过电流继电器　　（b）欠电流继电器

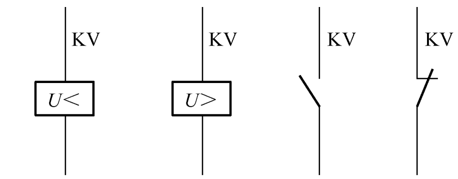




（c）外形结构　　（d）动作原理

图 2-56　JT4 系列过电流继电器的外形结构及动作原理

3. 中间继电器



（a）欠电压继电器线圈　（b）过电压继电器线圈　（c）常开触点　（d）常闭触点

图 2-57　电压继电器

中间继电器的结构图、图形符号和文字符号如图 2-58 所示。中间继电器实质上是电压继电器的一种，它的触头数多，触头电流容量大，动作灵敏。中间继电器的主要用途是当其他继电器的触头数或触头容量不够时，可借助中间继电器来扩大它们的触头数或触头容量，从而起到中间转换的作用。中间继电器的结构及工作原理与接触器基本相同，因而中间继电器又称为接触器式继电器。但中间继电器的触头对数多，且没有主辅之分，各对触头允许通过的电流大小相同，多数为 5A。因此，对于工作电流小于 5A 的电气控制电路，可用中间继电器代替接触器实施控制。

常用的中间继电器有 JZ7 系列。以 JZ7-92 为例，有 9 对常开触头，2 对常闭触头。

4. 空气阻尼式时间继电器

它由电磁机构、工作触头及气室三部分组成，其延时是靠空气的阻尼作用来实现的。按其控制原理分为通电延时和断电延时两种类型。如图 2-59 所示为 JS7-A 型空气阻尼式时间继电器的外形及结构。

JS7-A 型空气阻尼式时间继电器工作原理图如图 2-60 所示。通电延时型时间继电器电磁铁线圈 1 通电后，将衔铁 4 吸下，于是顶杆 6 与衔铁间出现一个空隙。当与顶杆 6 相连的活塞 12 在弹簧 7 作用下由上向下移动时，在橡皮膜 9 上面形成空气稀薄的空间（气室），空气由进气孔 11 逐渐进入气室，活塞因受到空气的阻力不能迅速下降。当降到一定位置时，杠杆 15 使延时触头 14 动作（常开触头闭合，常闭触头断开）。线圈断电时，弹簧 8 使衔铁和活塞等复位，空气经橡皮膜与顶杆之间推开的气隙迅速排出，触头瞬时复位。

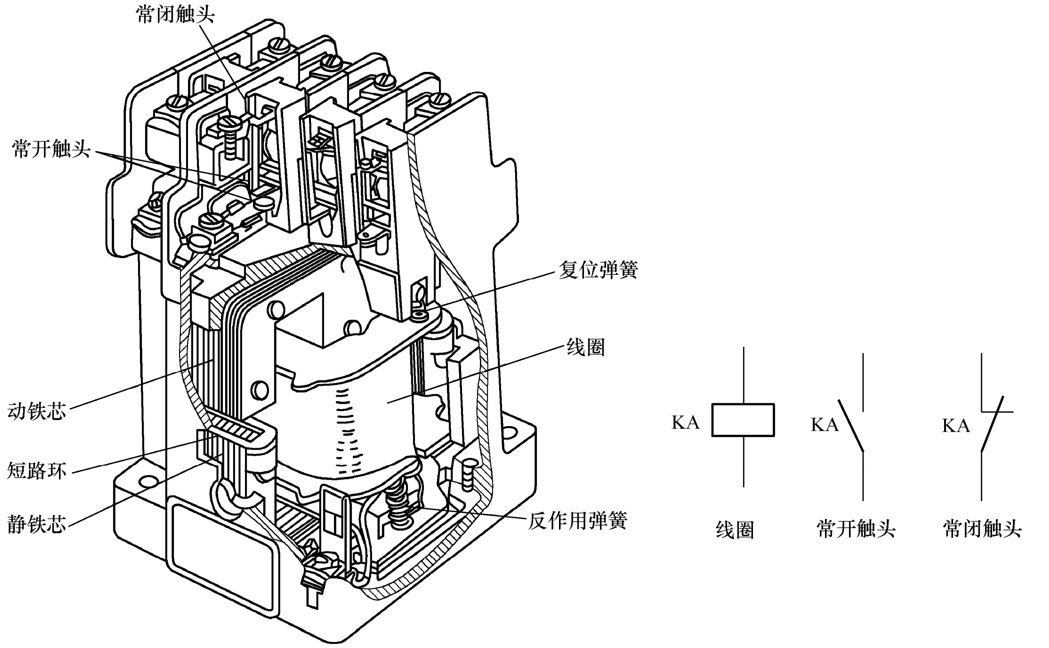
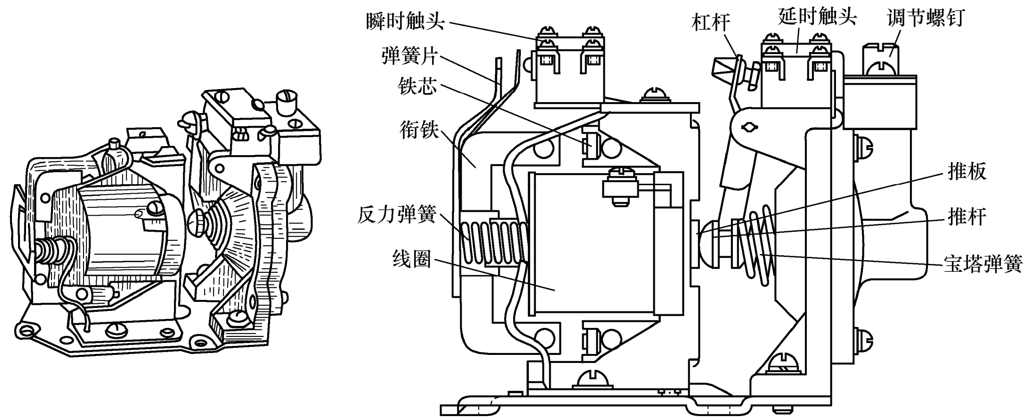


图 2-58　中间继电器的结构图、图形符号和文字符号



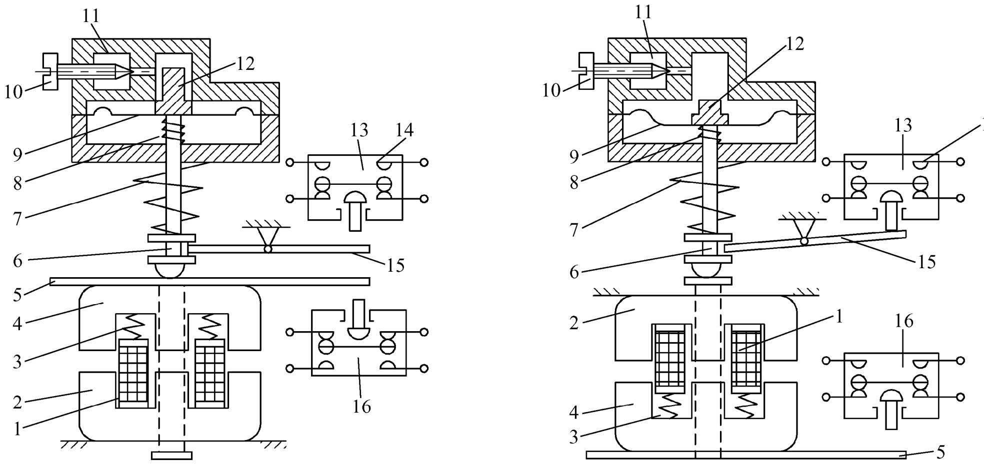
（a）外形　　（b）结构

图 2-59　JS7-A 型空气阻尼式时间继电器的外形及结构

断电延时型时间继电器与通电延时型时间继电器的原理和结构均相同，只是将其电磁机构翻转 180° 安装。

空气阻尼式时间继电器的延时时间有 0.4～180s 和 0.4～90s 两种，具有延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低廉、寿命长等优点，是机床交流控制线路中常用的时间继电器。

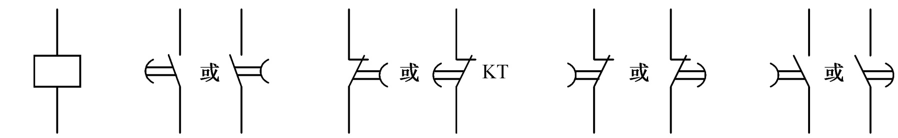
时间继电器的图形符号和文字符号如图 2-61 所示。



（a）通电延时型　　（b）断电延时型

1—线圈；2—静铁芯；3、7、8—弹簧；4—衔铁；5—推板；6—顶杆；9—橡皮膜；10—螺钉；11—进气孔；12—活塞；13、16—微动开关；14—延时触头 15—杠杆

图 2-60　JS7-A 型空气阻尼式时间继电器工作原理图



（a）线圈　（b）延时闭合的动合触头　（c）延时断开的动断触头　（d）延时闭合的动断触头　（e）延时断开的动合触头

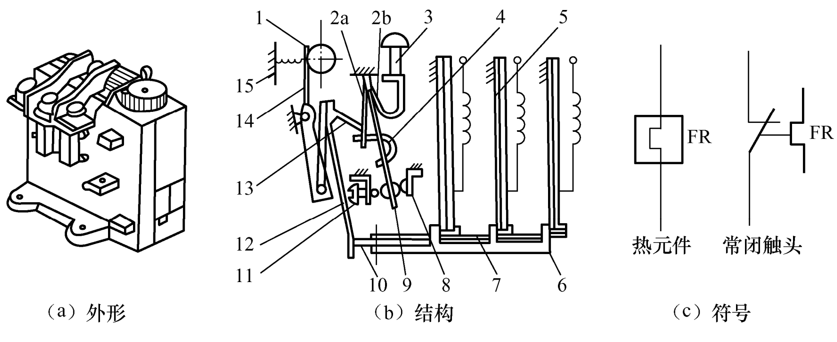
图 2-61　时间继电器的图形符号和文字符号

5. 热继电器

热继电器是专门用来对连续运行的电动机进行过载及断相保护，以防止电动机过热而烧毁的保护电器。

（1）结构

常用的热继电器有由两个热元件组成的两相结构和由三个热元件组成的三相结构两种形式。两相结构的热继电器主要由加热元件、主双金属片动作机构、触头系统、电流整定装置、复位机构和温度补偿元件等组成，如图 2-62 所示。



（a）外形　（b）结构　（c）符号

图 2-62　JR16 系列热继电器

热元件：热继电器接收过载信号的部分，它由双金属片及绕在双金属片外面的绝缘电阻丝组成。双金属片由两种热膨胀系数不同的金属片复合而成，如铁-镍-铬合金和铁-镍合金。电阻丝用康铜和镍铬合金等材料制成，使用时串联在被保护的电路中。当电流通过热元件时，热元件对双金属片进行加热，使双金属片受热弯曲。热元件对双金属片加热的方式有三种：直接加热、间接加热和复式加热，如图 2-63 所示。

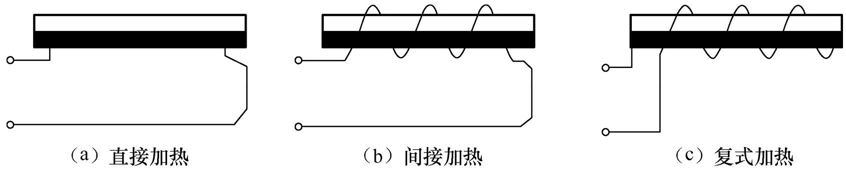


图 2-63　热继电器双金属片加热方式示意图

触头系统：一般配有一组切换触头，可形成一个动合触头和一个动断触头。

动作机构：由导板、补偿双金属片、推杆、杠杆及拉簧等组成，用来补偿环境温度的影响。

复位按钮：热继电器动作后的复位有手动复位和自动复位两种，手动复位功能由复位按钮来完成；自动复位功能由双金属片冷却自动完成，但需要一定的时间。

整定电流装置：由旋钮和偏心轮组成，用来调节整定电流的数值。热继电器的整定电流是指热继电器长期不动作的最大电流值，超过此值就要动作。

（2）工作原理

由热继电器结构原理图 2-64 可知，它主要由双金属片、加热元件、动作机构、触头系统、整定调整装置及手动复位装置等组成。双金属片作为温度检测元件，由两种膨胀系数不同的金属片压焊而成，它被加热元件加热后，因两层金属片伸长率不同而弯曲。

将热继电器的三相热元件分别串接在电动机三相主电路中，当电动机正常运行时，热元件产生的热量不会使触头系统动作；当电动机过载时，流过热元件的电流加大，经过一定的时间，热元件产生的热量使双金属片的弯曲程度超过一定值，通过导板推动热继电器的触头动作（常开触头闭合，常闭触头断开）。通常用热继电器串接在接触器线圈电路的常闭触头来切断线圈电流，使电动机主电路失电。故障排除后，按手动复位按钮，热继电器触头复位，可以重新接通控制电路。

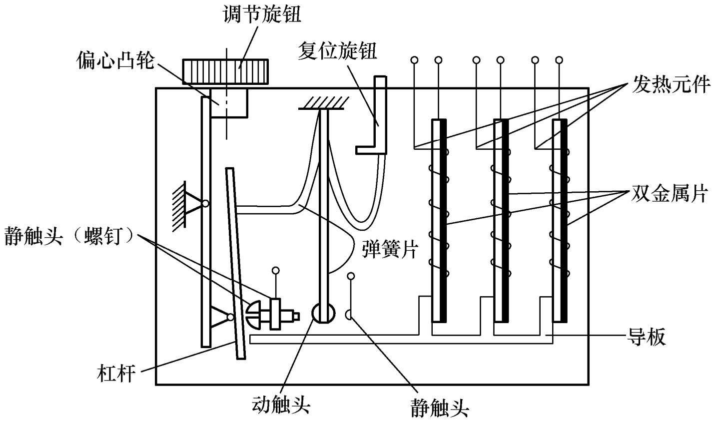


图 2-64　三相结构热继电器工作原理图

（3）热继电器主要参数

额定电流是指热继电器中可以安装的热元件的最大整定电流值。

整定电流是指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流整定的。对于某一热元件的热继电器，可手动调节整定电流旋钮，通过偏心凸轮机构调整双金属片与导板的距离，能在一定范围内调节其电流的整定值，使热继电器更好地保护电动机。

（4）热继电器的选用

热继电器种类的选择：应根据被保护电动机的连接形式进行选择。当电动机为星形连接时，选用两相或三相热继电器均可进行保护;当电动机为三角形连接时，应选用三相差分放大机构的热继电器进行保护。其主要根据电动机的额定电流来确定其型号和使用范围。

额定电压选用时要求额定电压大于或等于触头所在线路的额定电压；额定电流选用时要求额定电流大于或等于被保护电动机的额定电流。

热元件规格用电流值选用时一般要求其电流规格小于或等于热继电器的额定电流。

热继电器的整定电流要根据电动机的额定电流、工作方式等而定。一般情况下可按电动机额定电流值整定。

对过载能力较差的电动机，可将热元件整定值调整到电动机额定电流的 0.6～0.8 倍。对启动时间较长，拖动冲击性负载或不允许停车的电动机，热元件的整定电流应调节到电动机额定电流的 1.1～1.15 倍。

对于重复短时工作制的电动机（如起重电动机等），由于电动机不断重复升温，热继电器双金属片的温升跟不上电动机绕组的温升变化，因而电动机将得不到可靠保护，故不宜采用双金属片式热继电器作过载保护。

热继电器的主要产品型号有 JR20、JRS1、JR0、JR10、JR14 和 JR15 等系列；引进产品有 T 系列、3μA 系列和 LR1-D 系列等。

（5）热继电器的安装

热继电器安装接线时，应清除触头表面污垢，以避免因电路不通或接触电阻加大而影响热继电器的动作特性。

如电动机启动时间过长或操作次数过于频繁，则可能使热继电器误动作或烧坏热继电器，故这种情况一般不用热继电器作过载保护，如仍用热继电器，则应在热元件两端并接一副接触器或继电器的常闭触头，待电动机启动完毕，使常闭触头断开后，再将热继电器投入工作。

热继电器周围介质的温度，原则上应和电动机周围介质的温度相同，否则，势必要破坏已调整好的配合情况。当热继电器与其他电器安装在一起时，应将它安装在其他电器的下方，以免其动作特性受到其他电器发热的影响。

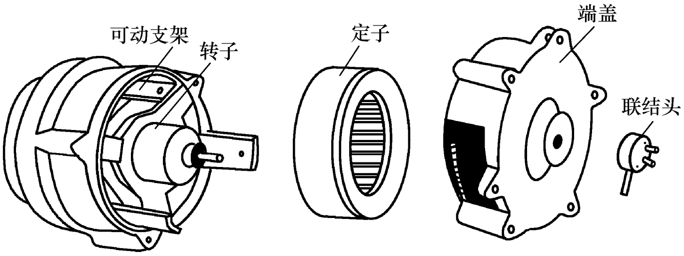
热继电器出线端的连接导线不宜过细，如连接导线过细，轴向导热性差，则热继电器可能提前动作；反之，连接导线太粗，轴向导热快，热继电器可能滞后动作。在电动机启动或短时过载时，由于热元件的热惯性，热继电器不能立即动作，从而保证了电动机的正常工作。如果过载时间过长，超过一定时间（由整定电流的大小决定），则热继电器的触头动作，切断电路，起到保护电动机的作用。

6. 速度继电器

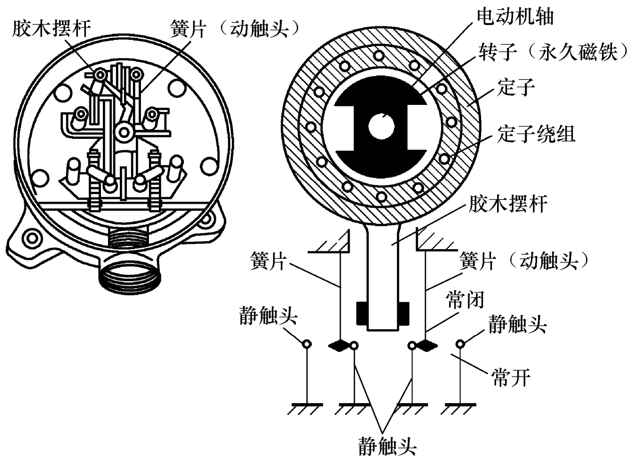
速度继电器是根据电磁感应原理制成的，用于转速的检测，如用来在三相交流感应电动

机反接制动转速过零时自动切除反相序电源。

如图 2-65 所示，速度继电器主要由转子、圆环（笼形空心绕组）和触头三部分组成。转子由一块永久磁铁制成，与电动机同轴相连，用以接收转动信号。当转子（磁铁）旋转时，笼形绕组切割转子磁场产生感应电动势，形成环内电流，此电流与磁铁磁场相作用，产生电磁转矩，圆环在此力矩的作用下带动摆杆，克服弹簧力而顺转子转动的方向摆动，并拨动触头，改变其通断状态（在摆杆左、右各设一组切换触头，分别在速度继电器正转和反转时发生作用）。当调节弹簧弹力时，可使速度继电器在不同转速时切换触头，改变通断状态。



（a）外形

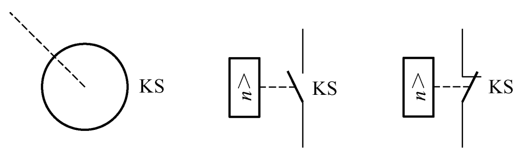


（b）结构

图 2-65 速度继电器结构原理图

速度继电器的动作转速一般不低于 120r/min，复位转速约在 100r/min 以下，工作时允许的转速高达 1000～3900r/min。由速度继电器的正转和反转切换触头的动作来反映电动机转向和速度的变化。常用的速度继电器型号有 JY1 型和 JFZ0 型。

速度继电器的图形符号和文字符号如图 2-66 所示。



（a）转子 （b）常开触头 （c）常闭触头

图 2-66 速度继电器的图形符号和文字符号

2.2.10 电动机的保护环节

1. 短路保护

短路保护：电力拖动系统出现短路或严重过载时，能够可靠迅速地切断电路所采取的保护。

危害：

① 产生的短路电流能引起电气设备绝缘损失、损坏电气元件。

② 产生强大的电动力使电气设备损坏。

保护方法：短路时，迅速将电源切断。

采取措施：利用熔断器（FU）、自动开关和过电流继电器。

① 熔断器：其熔断体串联在被保护的线路中。当电路出现短路或严重过载时自动熔断切断电路，适用于动作准确度和自动化程度较差的系统中。

② 自动（空气）开关保护又称自动空气熔断器。当电路出现短路、过载或欠压时快速跳闸切断电路，适用于动作准确度和自动化程度较高的系统中。

2. 过载保护

过载保护：在电动机长时间欠电压运行、长时间超载运行及单相运行时能够可靠切断电动机电源所采取的保护。

电动机长时间超载运行时，电路中表现为电流增大，温度高于其允许值，电动机的绝缘材料要变脆，寿命减小，严重时会损坏电动机，因此要采取保护。

一般用热继电器作为过载保护元件。

（热继电器驱动部分在主电路中，触头在控制线路中。）

热继电器：过载电流越小，动作的时间越长（产生动作切断电路）；过载电流越大，动作的时间越短。

由于热惯性的原因，发生短时间过载冲击电流或短路电流的影响，热继电器不动作。所以在有热继电器保护的同时，还应有短路保护。熔断器熔体的额定电流，不应超过 4 倍热继电器热元件的额定电流。热继电器的工作受环境温度的影响。

当电动机的工作环境温度和热继电器的工作环境温度不同时，保护的可靠性就受到影响。

3. 过电流保护

过电流保护：当不正确启动和过大的负载转矩引起很大的电流时，快速切断电源所采取的保护。

过电流一般比短路电流要小。

过电流保护广泛用于直流电动机或绕线转子异步电动机，一般用过电流继电器作为过电流保护元件，同时过电流继电器也起着短路保护的作用。对于三相笼型电动机，由于其短时过电流不会产生严重后果，故不采用过电流保护而采用短路保护。

一般过电流动作的强度值为启动电流的 1～1.2 倍。

4. 欠压保护

当电网电压降到额定电压 U_N 以下，如 60%～80%时，就要求能自动切断电源而停止工作，这种保护称为欠电压保护。因为电动机在电网电压降低时，其转速、电磁转矩都将降低甚至堵转。在负载一定的情况下，电动机电流将增加，不仅影响产品加工质量，还会影响设备正常工作，使机械设备损坏，造成人身事故。另外，由于电网电压的降低，如降到 U_N 的 60%，控制线路中的各类交流接触器、继电器既不释放又不能可靠吸合，处于抖动状态并产生很大噪声，线圈电流增大，甚至过热造成电气元件和电动机的烧毁。

实现欠压保护的电器是接触器和电磁式电压继电器。在机床电气控制线路中，大多数情况下，由于接触器已兼有欠压保护功能，因此不必再加电压继电器欠压保护。一般电网电压降低到额定电压的85%以下时，接触器就切断主电路和控制电路电源，使电动机停转。

5. 零压保护

电动机正常工作时，如果因为电源电压的消失而停转，那么在电源电压恢复时，就可能自行启动，电动机的自行启动将造成人身事故和机械设备损坏。对电网而言，多台电动机同时启动，会引起不允许的过电流和过大的电压降，而电热类电器可能引起火灾。为防止电压恢复时，电动机自行启动或电气元件自行投入工作而设置的保护，称为失压保护。采用接触器和按钮控制电动机的启、停本身就具有失压保护作用。因为，若正常工作时，电网电压消失，接触器就会自动释放而切断电动机电源，当电网恢复正常时，由于接触器自锁电路已断开，因此不会自行启动。但若不是采用按钮，而是用不能自动恢复的手动开关、行程开关等控制接触器，则必须采用专门的零压继电器。对多位开关，应采用零位保护来实现失压保护，即电路控制必须先接通零压继电器。在工作中，一旦失电，零压继电器释放，其自锁也释放，当电网恢复正常时，就不会自行投入工作。

6. 弱磁保护

直流电动机必须在磁场具有一定强度时才能启动和正常运转。若在启动时，直流电动机的励磁电流太小，产生的磁场太小，则将会使启动电流很大。在正常运转时，磁场突然减弱或消失，对串励电动机来说，电动机会停止运行；对并励或他励电动机，则转速剧升，从而引起“飞车”事故。所以，在直流电动机的控制线路中应该设置弱磁或失磁保护。其常采用的方法是在电路中串入欠电流继电器来监视直流电动机的励磁电流，并与接触器配合使用。当励磁电流达到欠电流继电器动作值时，继电器动合触头闭合，电动机启动或正常工作；一旦励磁电流低于欠电流继电器的整定值，继电器就会动作，使接在电路中的动合触头断开，接触器线圈失电，电动机断电停转。

2.2.11 电气控制线路装调（测绘）

1. 机床电气原理图及绘制

机床电气控制系统是由许多电气元件按照一定的要求连接而成，从而实现对机床的电气自动控制。为了便于对控制系统进行设计、研究分析、安装调试、使用和维修，需要对电气控制系统中各电气元件及其相互连接用国家规定的统一符号、文字和图形表示出来。这种图就是电气控制系统图，它有三种形式：电气原理图、电气元件布置图、电气安装接线图。

电气原理图是为了便于阅读和分析控制电路的各种功能，用各种符号、电气连接联系起来描绘全部或部分电气设备的工作原理的电路图。绘制电气原理图应按GB4728—84《电气图常用图形符号》、GB5226—85《机床电气设备通用技术条件》、GB7159—87《电气技术中的文字符号制定通则》、GB6988—86《电气制图》等规定的标准绘制。

根据简单清晰的原则，原理图采用电气元件展开的形式绘制。它包括所有电气元件的导电部件和接线端点，但并不按照电气元件的实际位置来绘制，也不反映电气元件的大小。

2. 绘制原理图的原则与要求

① 原理图一般分为主电路、控制电路、信号电路、照明电路及保护电路等。

主电路（动力电路）指从电源到电动机大电流通过的电路，其中电源电路用水平线绘制，受电动力设备（电动机）及其保护电器支路应垂直于电源电路画出。

② 控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等，应垂直地绘于两条水平电源线之间，耗能元件（如线圈、电磁铁、信号灯等）的一端应直接连接在接地的水平电源线上，控制触头连接在上方水平线与耗能元件之间。

图中所有电器触头，都按没有通电和没有外力作用时的开闭状态画出。对于继电器、接触器的触头，按吸引线圈不通电状态画，控制器按手柄处于零位时的状态画，按钮、行程开关触头按不受外力作用时的状态画。

③ 无论主电路还是辅助电路，各元件一般应按动作顺序从上到下，从左到右依次排列。

④ 原理图中各电气元件和部件在控制线路中的位置，应根据便于阅读的原则安排。同一电气元件的各个部件可以不画在一起。

⑤ 原理图中有直接电联系的交叉导线连接点，用实心圆点表示；可拆接或测试点用空心圆点表示；无直接电联系的交叉点则不画圆点。

⑥ 对非电气控制和人工操作的电器，必须在原理图上用相应的图形符号表示其操作方式及工作状态。由同一机构操作的所有触头，应用机械连杆符号表示其连动关系，各个触头的运动方向和状态必须与操作件的动作方向和位置协调一致。

⑦ 对与电气控制有关的机、液、气等装置，应用符号绘出简图，以表示其关系。

如图 2-67 所示是某机床电气原理图。

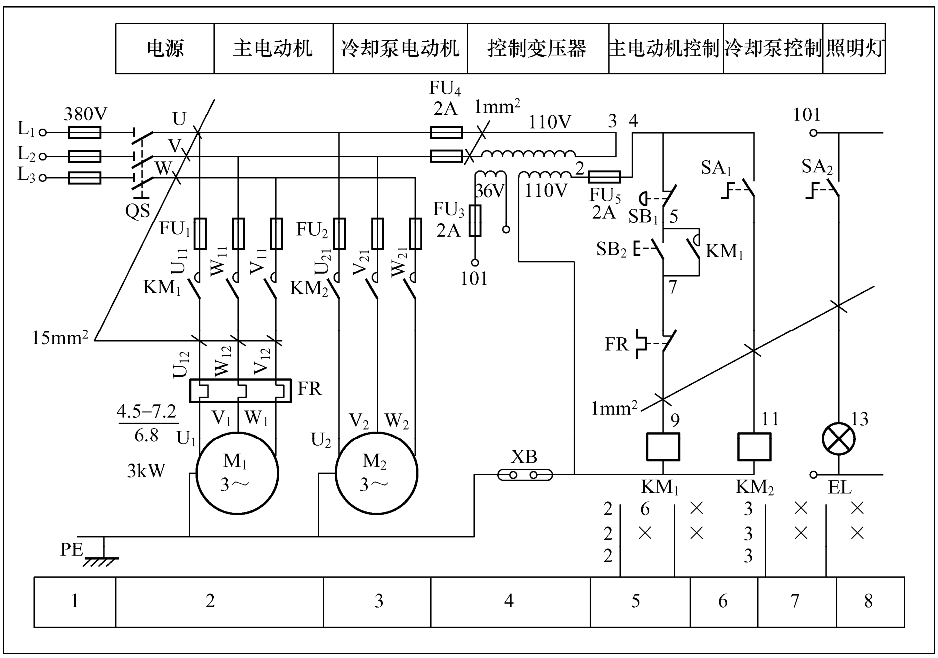
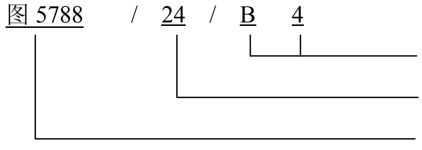


图 2-67　图幅分区

图幅分区后，相当于在图上建立了一个坐标。具体使用时，对水平布置的电路，一般只需标明行的标记；对垂直布置的电路，一般只需标明列的标记；复杂的电路需标明组合标记。

元件的相关触头位置的索引用图号、页次和区号组合表示如下：



继电器和接触器的触头位置采用附图的方式表示，附图可画在电路图中相应线圈的下方，此时，可只标出触头的位置索引。若画在电路图上其他地方，则必须注明是哪个线圈的附图，附图上的触头表示方法如图 2-68 所示。

KM

主触头的图区号	辅助常开触头的图区号	辅助常闭触头的图区号

KA .KT

常开触头的图区号	常闭触头的图区号

图 2-68　触点位置索引图

⑧ 布置图示例。如图 2-69 所示为 CW6132 型车床控制盘电器布置图，图中 FU1～FU4 为熔断器、KM 为接触器、FR 为热继电器、TC 为照明变压器、XT 为接线端子排。

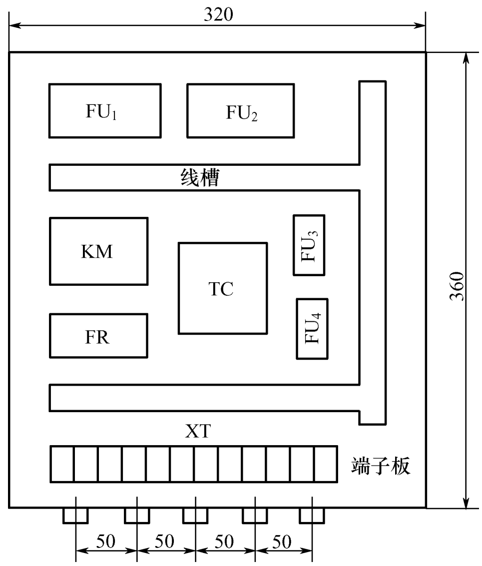


图 2-69　CW6132 型车床控制盘电器布置图

3. 技术数据的标注

电气元件的数据和型号一般用小号字体标注在电器代号的下面，如热继电器动作电流和整定值的标注、导线截面积的标注等。

（1）要求

① 掌握车床的操作过程及其控制线路和工作原理。

② 会列出控制线路的元器件清单。

③ 会安装和测试控制线路。

④ 会排除控制线路的故障。

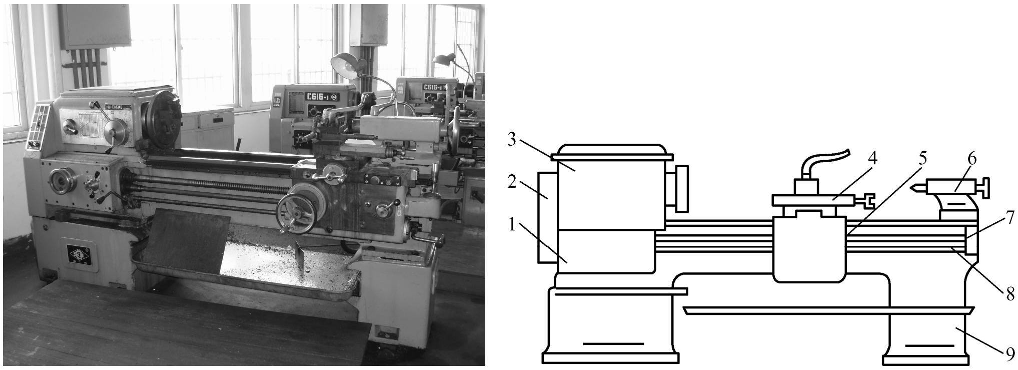
（2）卧式车床的主要结构及运动形式

如图 2-70 所示，卧式车床主要由床身、主轴变速箱、挂轮箱、进给箱、溜板箱、溜板与刀架、尾座、丝杠、光杠等部件组成。

为了加工各种螺旋表面，车床必须具有切削运动和辅助运动。切削运动包括主运动和进给运动，而切削运动以外的其他运动皆为辅助运动。

车床的主运动是由主轴通过卡盘带动工件的旋转运动，它承受车削加工时的主要切削功率。车削加工时，应根据加工零件的材料性质、刀具几何参数、工件尺寸、加工方式及冷却条件等来选择切削速度，要求主轴调速范围宽。卧式车床一般采用机械有级调速。加工螺纹时，通过主电动机的正、反转来实现主轴的正、反转，当主轴反转时，刀架也跟着后退。有些车床，通过机械方式实现主轴正、反转。进给运动是溜板带动刀架的纵向或横向运动。由

于车削温度高，需要配备冷却泵及电动机。



1—进给箱；2—挂轮箱；3—主轴变速箱；4—溜板与刀架；5—溜板箱；6—尾座；
7—丝杠；8—光杠；9—床身

图 2-70　卧式车床结构示意图

C616 车床主要参数如表 2-9 所示。

表 2-9　C616 车床主要参数

<table>
<tr><th>序　号</th><th colspan="5">项　目</th><th>C616-1/C616-1D</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="5">床身以上中心高</td><td>160</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="5">床面以上最大工件回转直径</td><td>320</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="5">刀架以上加工最大直径</td><td>175</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="5">最大加工工件长度</td><td>750</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="5">主轴内孔下径</td><td>30/40</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="5">主轴内孔锥度</td><td>莫氏 5 号</td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="5">主轴端外锥体锥度</td><td>75× 1 ： 4</td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="5" rowspan="2">主轴转速种数
主轴转速范围</td><td>正、反各 12 种</td></tr>
<tr><td>9</td><td>45～1980r/min</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10</td><td>主轴每转刀架</td><td colspan="4">横向</td><td>0.02～2.45</td></tr>
<tr><td>进给量范围</td><td colspan="4">纵向</td><td>0.03～3.34</td></tr>
<tr><td>11</td><td colspan="5">车刀刀杆最大尺寸（宽×高）</td><td>20×20</td></tr>
<tr><td rowspan="3">12</td><td rowspan="3">车削螺纹</td><td>公制螺纹</td><td>种数</td><td>17</td><td>螺距范围</td><td>0.5～9</td></tr>
<tr><td>英制螺纹</td><td>种数</td><td>32</td><td>每寸牙数范围</td><td>2～38</td></tr>
<tr><td>模数螺纹</td><td>种数</td><td>17</td><td>模数范围</td><td>0.5～9</td></tr>
<tr><td>13</td><td colspan="5">顶尖套内孔锥度</td><td>莫氏 4 号</td></tr>
<tr><td>14</td><td colspan="5">顶尖套筒最大移动距离</td><td>95</td></tr>
<tr><td>15</td><td colspan="5">主电动机功率</td><td>4kW</td></tr>
<tr><td>16</td><td colspan="5">冷却泵电动机功率</td><td>0.125kW</td></tr>
<tr><td>17</td><td colspan="5">机床外形尺寸（长×宽×高）</td><td>2340×900×1190</td></tr>
<tr><td>18</td><td colspan="5">机床净重</td><td>1600kg</td></tr>
</table>

（3）典型控制电路

① 长动和点动控制线路如图 2-71 所示。

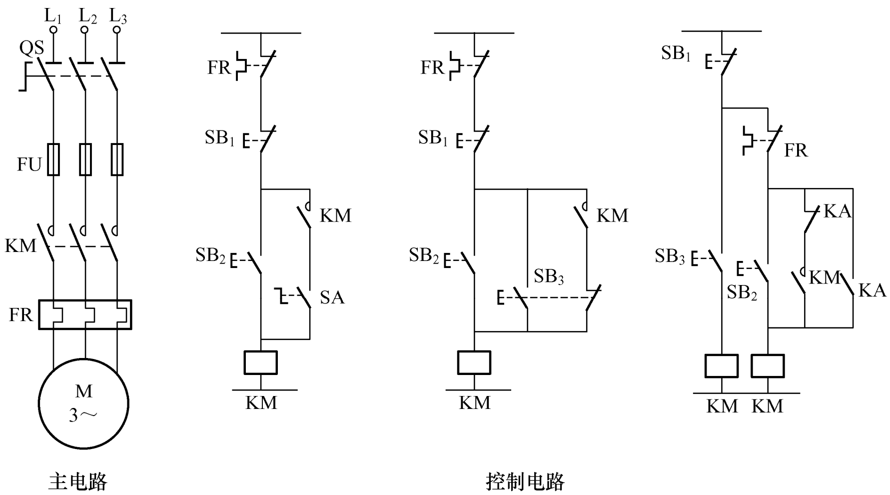


图 2-71　长动和点动控制线路

② 正转控制电路如图 2-72 所示。

③ 正、反转控制电路如图 2-73 所示。

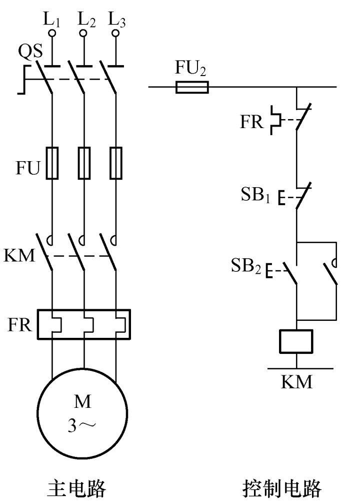


图 2-72　正转控制电路

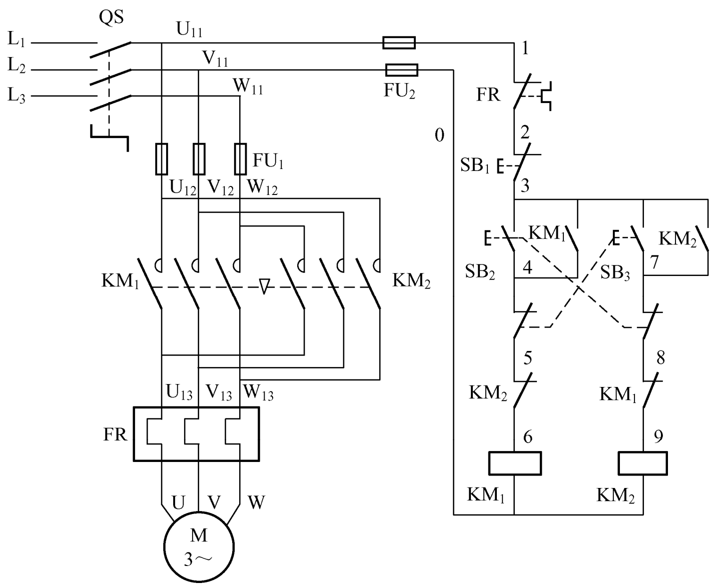


图 2-73　正、反转控制电路

④ 星/三角控制电路如图 2-74 所示。

（4）电气控制线路的安装步骤

① 识读电气控制线路图。明确电路所用电气元件名称及其作用，熟悉线路的操作过程和工作原理。

② 配齐电气元件。列出元器件清单，配齐电气元件，并逐一进行质量检测。

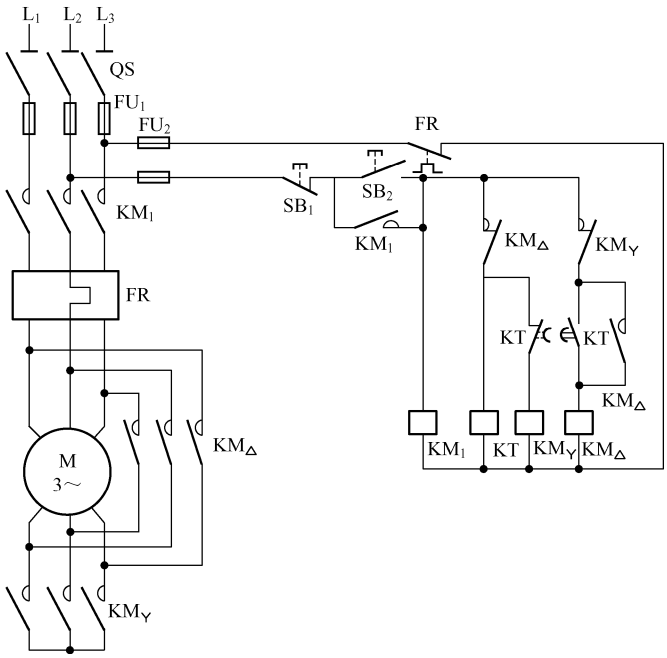


图 2-74 星/三角控制电路

③ 安装电气控制线路。将电气元件安装在控制板上，根据电动机容量选择合适的保护接地线、电源线及控制板外部的导线。连接电动机和所有电气元件金属外壳的保护接地线，连接电源、电动机及控制板外部的导线。

④ 学生自检。检查主电路接线是否正确；用万用表电阻挡检查控制电路接线是否正确，防止因接线错误造成不能正常运转或短路事故。

⑤ 通电试车。为保证人身安全，必须在教师监护下通电试车。尽量选配符合规格的导线，分别连接主电路和控制电路。

（5）板前明线布线安装工艺

① 布线通道尽可能少，同路并行导线按主电路、控制电路分类集中，单层密排。

② 布线尽可能紧贴安装面布线，相邻电气元件之间也可“空中走线”。

③ 安装导线尽可能靠近元器件走线。

④ 布线要求横平竖直，分布均匀，自由成形。

⑤ 同一平面的导线应高低一致或前后一致，尽量避免交叉。

⑥ 变换走向时应垂直成 90°角。

⑦ 按钮连接线必须用软线，与配电板上的元器件连接时必须通过接线端子并编号。

（6）线路检测

① 主电路接线检查。按电路图或接线图从电源端开始，逐段核对接线有无漏接、错接之处，检查导线接点是否符合要求，压接是否牢固。

② 控制电路接线检查。用万用表电阻挡检查控制电路接线情况。

③ 松开启动按钮 SB1，按下 KM 触头架，使其常开辅助触头闭合，万用表读数应为接触器线圈的直流电阻值。

④ 停车控制检查。按下启动按钮或 KM 触头架，测得接触器线圈的直流电阻值（CJ10—10 线圈的直流电阻值约为 1800Ω），同时按下停止按钮，万用表读数由线圈的直流电阻值变

为“∞”。

（7）通电试车

① 为保证人身安全，在通电试车时，要认真执行安全操作规程的有关规定，经老师检查并现场监护。

② 接通三相电源，作空载实验。用电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。通过操作按钮，观察接触器情况是否正常，是否符合线路功能要求，观察电气元件动作是否灵活，有无卡阻及噪声过大现象。

③ 空载实验无误后，接上负载作负载试验，观察电动机运行是否正常。若有异常，立即停车检查，反复调试直至设备正常工作为止。

4. C616 车床电气控制线路装调要求

① 阅读电路图，明确线路所用电气元件及作用，熟悉线路工作原理。

② 清点电气元件并进行检验。

③ 按照安装接线图安装电气元件，并贴上醒目的文字符号，工艺要求如下（具体要求参见后面附录）：

- 断路器、熔断器受电端应安装在控制板的外侧，并使熔断器的受电端为底座中心端。
- 电气元件的安装位置应整齐、均匀，间距合理，便于元件的更换。
- 紧固元件时要用力均匀，紧固程度适当，尤其对熔断器和接触器等。

④ 按照电气安装接线图的走线方法进行板前明线布线和套编码套管，工艺要求如下：

- 布线通道尽可能少，同路并行导线按主、控电路分类集中，单层密排，紧贴安装面布线。
- 同一平面的导线高低应一致，不能交叉。
- 布线应横平竖直，分布均匀，变换走向时应垂直。
- 布线时严禁损伤线芯和导线绝缘。
- 布线顺序一般以接触器为中心，由里向外，由低至高，先控制电路，后主回路，以不妨碍后续布线为原则。
- 在每根剥去绝缘层导线的两端套上编码套管，所有从一个接线端子到另一个接线端子的导线必须连续，中间无接头。
- 导线与接线端子连接时，不得压绝缘层，也不能露铜过长。
- 同一个元件、同一回路的不同接点的导线间距离应保持一致。
- 一个元件接线端子上的连接导线不得多于两根，每节接线端子板上的连接导线一般只允许连接一根。

⑤ 连接电动机和按钮金属外壳的保护接地线。

⑥ 连接电源、电动机、按钮开关等配电盘外部的导线。

⑦ 安装完毕的控制线路板，必须经过认真检查后才允许通电试车，要求如下：

- 按照电气原理图从电源端开始，逐段核对有无漏接、错接。检查导线接点压接是否牢固，接触应良好。
- 用万用表检查线路的通断情况，对控制电路的检查，可将表笔搭在供电端，读数应为无穷大。按下启动按钮，读数应为接触器线圈的直流电阻值，然后断开控制电路再检查主电路有无开路和短路现象。
- 用工具检查线路的绝缘电阻应大于 1MΩ。

⑧ 进行电动机启动前的检查。为了保证设备和人身安全，对于新购入的电动机（或长期未使用）启动前应进行以下检查：

- 检查电动机铭牌所示电压、频率与使用的电源是否一致，接法是否正确，电源的容量与电动机的容量及启动方法是否合适。
- 使用的电线规格是否合适，电动机进、出线与线路连接是否牢固，接线有无错误，端子有无松动或脱落。
- 开关的接触器的容量是否合适，触头的接触是否良好。
- 熔断器和热继电器的额定电流与电动机的容量是否匹配，热继电器是否复位。
- 检查轴承是否缺油，油质是否符合标准，加油时应达到规定的油位。
- 检查传动装置，传动带不得过紧或过松，连接要可靠，无裂伤迹象，联轴器螺钉及销子应完整、紧固。
- 检查电动机外壳有无裂纹，接地是否可靠，地脚螺钉、端盖螺栓不得松动。
- 检查启动器的开关或手柄位置是否正确。
- 检查旋转装置的防护罩等安全措施是否完好。
- 检查通风系统是否完好。
- 检查电动机的内部有无杂物。
- 检查电动机绕组相间和绕组对地绝缘是否良好，测量绝缘电阻应符合规定要求。

⑨ 通电试车。在通电试车时，一人监护，一人操作。

通电试车前，必须征得教师同意，并由教师接通三相电源，同时在现场监护；出现故障后，学生应断电进行检查，如需带电检查，教师必须在现场监护。

⑩ 电动机启动后的检查：

- 电动机启动后电流是否正常。
- 电动机的旋转方向有无错误。
- 有无异常振动和响声。
- 有无异味及冒烟现象。
- 电流的大小与负载是否相当，有无过载现象。
- 启动装置的动作是否正常。

⑪ 注意事项：

- 电动机及按钮的金属外壳必须可靠接地。接至电动机的导线必须穿在导线通道内加以保护。
- 电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线座上，出线应接在上接线座上。
- 按钮内接线时不能用力过猛，以防螺钉打滑。

2.3　安装、接线操作技能

2.3.1　导线的选择

导线的种类和型号有很多，应用较广泛的有裸导线、电磁线、绝缘导线和电缆等。

常用导线有铜芯线和铝芯线两种。铜芯线电阻率小，导电性能好，机械强度大，价格较高；铝芯线电阻率比铜芯线稍大些，机械强度不如铜芯线，但价格低，应用也很广泛。

导线也可分为单股线与多股线，大部分截面积为 $6mm^2$及以下的导线为单股线，截面积在 $10mm^2$及以上的导线为多股线。多股线由几股或几十股线芯绞合在一起形成一根，如有 7 股、19 股、37 股等。

导线还分裸导线和绝缘导线。绝缘导线又可分为电磁线、绝缘线、电缆等多种，而常见的外皮绝缘材料有橡胶、塑料、棉纱、玻璃丝等。

1. 导线材料和类型的选择

（1）导线材料

用来制作导线的金属必须同时具备以下 5 个特点：导电性能良好（即电阻系数小）；有一定的机械强度；不易被氧化和被腐蚀；容易加工和焊接；资源丰富，价格便宜。

金属中导电性能最佳的是银，其次是铜、铝。由于银的价格比较昂贵，因此只在比较特殊的场合才使用，一般都将铜和铝作为主要的导电金属材料。但是在某些特殊场合，也需要用其他的金属或合金作为导线材料。如架空线需要具有较高的机械强度，常选用铝镁硅合金；熔丝具有易熔的特点，故选用铅锡合金；电热材料需要具有较大的电阻系数，常选用镍铬合金或铁铬合金；电光源的灯丝要求熔点高，需选用钨丝作为导线材料等。

铜芯线的导电性能：焊接性能、机械性能都比铝芯线好，因此要求较高的动力线、电气设备的控制线和电动机、电器的线圈大部分采用铜芯线。

提示：导线材料大部分是金属，但不是所有的金属都用作导线。

（2）导线类型

导线可分为电力线和电磁线。电力线用来将各种电路连接成通路。电磁线用来制作各种绕组，如变压器、电动机和电磁铁中的绕组。

电力线可分为裸导线和绝缘导线。

裸导线：常用的裸导线有铝绞线、钢芯铝绞线、铜绞线、防腐钢芯铝绞线。钢芯铝绞线的强度较高，用于电压较高或挡距较大的线路上，低压线路一般多采用铝绞线。

绝缘导线：种类很多，常用的有塑料硬线、塑料软线、塑料护套线、橡皮线、棉线编织橡皮软线（即花线）、橡套软线和漆包线，以及各种电缆等。

工厂中常用的绝缘导线有聚氯乙烯（塑料）绝缘线和橡皮绝缘线，其型号、名称、用途如表 2-10 所示。

表 2-10　常用绝缘导线

型　号	名　称	主 要 用 途
BV	单芯铜芯聚氯乙烯绝缘导线	适用于各种交流、直流电气装置，电工仪器、仪表，电信设备，动力及照明线路固定敷设等
BLV	单芯铝芯聚氯乙烯绝缘导线	
BVR	多芯铜芯聚氯乙烯绝缘电线	
BVV	铜芯聚氯乙烯绝缘护套圆形电线	
BLVV	铝芯聚氯乙烯绝缘护套圆形电线	
RV	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	用于各种交流、直流电器，电工仪器，家用电器，小型电动工具，动力及照明装置的连接等
RVB	铜芯聚氯乙烯绝缘平行软线	
RVV	铜芯聚氯乙烯绝缘护套圆形软线	
RVVB	铜芯聚氯乙烯绝缘护套软线	

续表

型　号	名　称	主要用途
BX	铜芯橡皮绝缘线	用于交流 500V 及以下，或直流 1000V 及以下的电气设备及照明使用等
BLX	铝芯橡皮绝缘线	
BXR	铜芯橡皮绝缘软线	
BXF	铜芯氯丁橡皮绝缘线	
BLXF	铝芯氯丁橡皮绝缘线	

电磁线按绝缘材料分，可分为漆包线、丝包线、丝漆包线、纸包线、玻璃纤维包线和纱包线等；按截面的几何形状分，可分为圆形和矩形两种；按导线线芯的材料分，可分为铜芯和铝芯两种。

（3）电缆的分类

电缆的种类有很多，可以按不同的分类方式分为不同的电缆。

① 以芯线分，可分为单芯和多芯的，也可分为铝芯和铜芯。

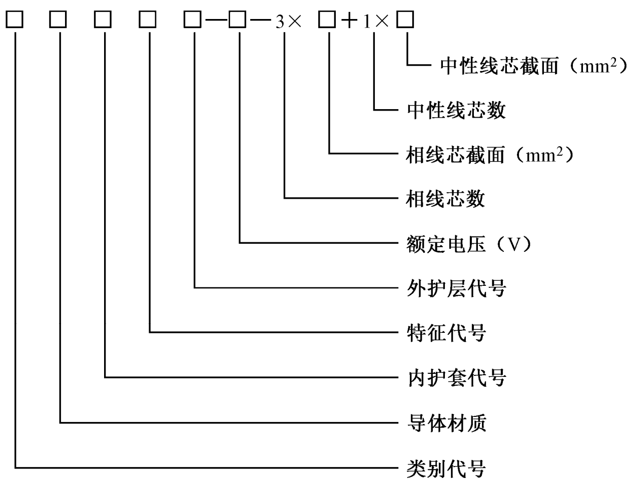
② 以绝缘方式分，可分为油浸纸绝缘、橡皮绝缘和塑料绝缘。

③ 以内护层分，可分为铅包、铝包、橡套和塑料护套。

④ 以外护层分，可分为铠装和无铠装，其中铠装的又分为钢带铠装和钢丝铠装。

⑤ 以封包结构分，可分为统包的、屏蔽型的和分相铅包的。

（4）电缆型号的表示方法



电缆类别代号：Z—油浸纸绝缘电力电缆；V—聚氯乙烯绝缘电力电缆；YJ—交联聚乙烯绝缘电力电缆；X—橡皮绝缘电力电缆。

材质代号：L—铝导体；LH—铝合金导体；T—铜导体；TR—软铜导体。

内护套代号：Q—铅包；L—铝包（现不生产）；V—聚氯乙烯护套。

特征代号：P—滴干式；D—不滴流式；F—分相铅包式。

外护层代号：02—聚氯乙烯套；03—聚乙烯套；20—裸钢带铠装；30—裸细圆钢丝铠装；40—裸粗圆钢丝铠装。

2. 导线截面的选择

（1）选择原则

① 选择导线基本原则：在潮湿或有腐蚀性气体的场所，可选用塑料绝缘导线，以提高导线绝缘水平和抗腐蚀能力；在比较干燥的场所内，可采用橡皮绝缘导线；对于经常移动的用电设备，宜采用多股软导线等。

合理选择导线截面，应能达到安全运行、降低电能损耗、减少运行费用的效果。导线截面的选择可由安全载流量、线路电压降、机械强度、与熔体额定电流或开关整定值相配合等4个方面加以确定。

② 电缆截面的选择原则：电缆截面的选择按允许载流量、经济电流密度选择，按机械强度、允许电压损失校验，同时，满足短路稳定度的条件。表2-11中列出了电力线路截面的选择和校验项目。

表 2-11　电力线路截面的选择和校验项目

电力线路的类型		允许载流量	允许电压损失	经济电流密度	机 械 强 度
35kV 及以上电源进线		△	△	★	△
无调压设备的 6～10kV 较长线路		△	★		△
6～10kV 较短线路		★	△		△
低压线路	照明线路	△	★		△
	动力线路	★	△		△
注：△——校验的项目，★——选择的依据。					

（2）安全载流量计算

导线允许长期通过的最大电流值称为连续允许电流值，也称为安全载流量（I_{al}）。

照明和电热设备：

$$I_{al} \geqslant \sum I_N$$

式中　I_{al}——进户导线的安全载流量；

$\sum I_N$——照明和电热设备总的额定电流之和。

动力负荷：

① 单台电动机：

$$I_{al} \geqslant I_N$$

式中　I_{al}——导线安全载流量；

I_N——电动机的额定电流。

② 多台电动机：

$$I_{al} \geqslant I_{NmM} + I_j (n-m) \qquad (m=1)$$

式中　I_{NmM}（m=1）——容量最大的电动机的额定电流；

I_j（$n-m$）——其余各台电动机的计算负荷电流。

（3）负荷电流 I_j 的计算方法

① 统计所有装接设备的额定容量之和$\sum P_N$；

② 考虑同一时间内的最大需要用量（即需用系数 K_d）；

③ 考虑发展因素，一般加20%左右的裕度（即发展系数 K_2）；

④ 把全部装接容量换算成电流 I_N，即：

$$I_j = (\sum I_N \times K_d) \times (1 + K_2)$$

则：

$I_j(n-m)=[(\sum I_N - I\text{NmM}(m=1))\times K_d]\times(1+K_2)$

（4）按电压损失校验截面

按电压损失校验截面时，应使各种用电设备端电压符合电压偏差允许值，如表 2-12 所示。

表 2-12　用电设备端电压要求

名　称	电压偏差允许值（%）	名　称	电压偏差允许值（%）
电动机		照明灯	
正常情况	−5～+5	视觉要求较高的场所	−2.5～+5
特殊情况	−10～+5	一般工作场所	−5～+5
一般线路	−5～+5	事故照明、道路照明、警卫照明	−10～+5
其他用电设备无特殊规定时	−5～+5		

（5）机械强度

导线会受到张力的作用，张力的大小主要受敷设方式和支持点的距离等影响。

提示：在选择导线时，必须考虑导线的机械强度，也就是导线的最小截面积。

（6）与熔体额定电流或开关整定值相配合

导线安全载流量应与保护该线路的熔断器熔体的额定电流或开关整定值相配合，当发生过负荷或短路时，熔断器内的熔体应能迅速熔断，或者开关脱扣器迅速脱扣断开，而不损坏导线。

（7）中性线、保护线、保护中性线的截面积选择

① 在三相四线制配电系统中，中性线 N 的允许载流量，应不小于线路中最大不平衡负荷电流，同时应考虑谐波电流影响。以气体放电灯为主要负荷的照明供电线路，中性线截面积应不小于相线截面积。

② 保护线（PE）或保护中性线（PEN 线）的截面积按热稳定要求必须不小于下式计算值：

$$S_p \geqslant \frac{I}{K}\sqrt{t}$$

式中　S_p——PE 线或 PEN 线的截面积（mm^2）；

I——流过保护装置的接地故障电流（用 IT 系统时，此项为两相短路电流）的均方根值（A）；

t——开断电器动作时间（s）（适用于 $t\leqslant 5s$）；

K——计算系数。

PE 线或 PEN 线的截面积按热稳定要求不小于表 2-13 所列数值。

表 2-13　PE 线或 PEN 线按热稳定要求的最小截面积

相线截面面积 S（mm^2）	PE 线或 PEN 线按热稳定要求的最小截面积（mm^2）
$S\leqslant 16$	$S_P=S$
$16<S\leqslant 35$	$S_P=16$
$S>35$	$S_P=\geqslant S/2$*

注：*当相线截面积很大时，宜按公式计算。

③ 配电干线中 PEN 线的截面积，按机械强度要求，采用单芯导线时，铜线应不小于

10mm²，铝线应不小于 16mm²。

④ PE 线若是用配电电缆或电缆金属外护层时，按机械强度要求，截面积不受限制。PE 线若是用绝缘导线或裸导线而不是配电电缆或电缆外护层时，按机械强度要求，有机械保护（敷设在套管、线槽等外护物内）时为 2.5mm²。

3. 电缆的选择

（1）电缆的种类

在电力系统中，电缆有多种分类方法，可以分为多种类型。

① 电力电缆：用来输送和分配大功率电能之用，按其所采用的绝缘材料分为纸绝缘、橡皮绝缘、聚氯乙烯绝缘、聚乙烯绝缘和交联聚乙烯绝缘等。

纸绝缘电力电缆有油浸和不滴流浸渍两种，由于使用寿命长、耐压强度高，纸绝缘电力电缆是传统电缆的主要产品，目前工程上仍然使用较多。聚氯乙烯绝缘电力电缆没有敷设位差的限制，制造工艺简单，有良好的抗腐蚀性能，目前在工程上得到了广泛使用，尤其是在 10kV 及以下的电力线路中应用最广。

按导电线芯所用材料分为铜芯电缆和铝芯电缆。

按导电线芯截面形状分为圆形、半圆形、扇形和椭圆形。

按导电线芯数量分为单芯、双芯、三芯、四芯和五芯，控制电缆有多种芯数规格。

② 控制电缆：在配电装置中传输操作电流，连接电气仪表、继电保护和自动控制等回路中使用的电缆为控制电缆，属于低压电缆。运行电压一般在交流 500V 或直流 1000V 以下，电流不大，且是间断性负荷，所以导电线芯截面积较小，一般在 1.5～10mm²，均为多芯电缆，芯数为 4 芯到 37 芯不等。

提示：橡皮绝缘电缆多使用在低压线路中。

（2）电力电缆的结构

电力电缆由导电线芯、绝缘层及保护层三个主要部分组成。另外，有的还有填料、屏蔽层、铠装层等。电力电缆有 5 种典型结构，其结构示意图如图 2-75 所示。

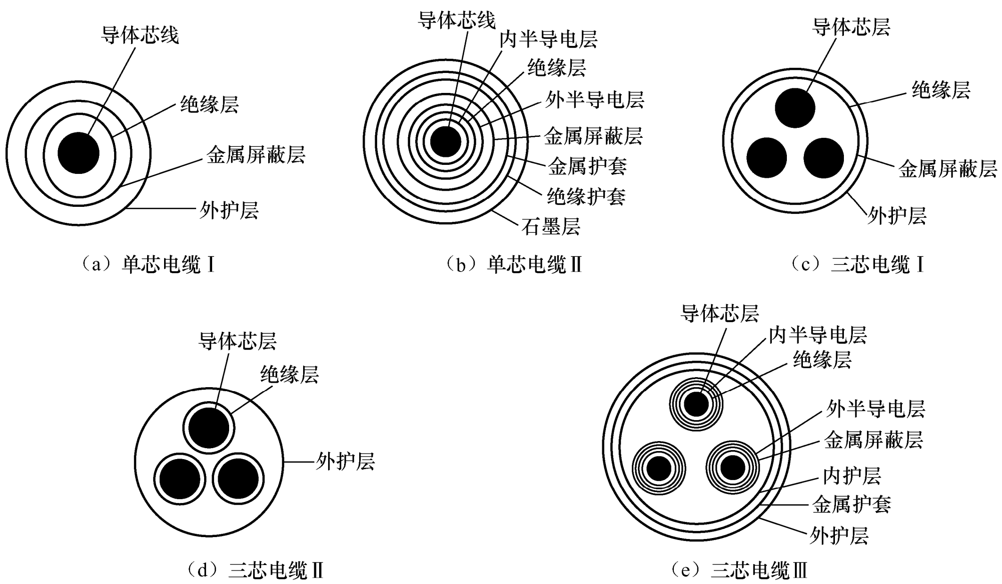


图 2-75　电力电缆结构示意图

导电线芯用来传导电流，绝缘层用来保证线芯之间、线芯与外界的绝缘，使电流沿线芯传输。电力电缆的保护层分内护层和外护层两部分。

预制分支电缆在传统塑料绝缘电力电缆基础上发展而来，它把经过专门工艺处理的电力电缆作为建筑配电的主干和支线电缆，根据各建筑具体的结构特点和尺寸，量体裁衣，预先把主干线、分支线和分支接头一同设计制造，再配以安装附件。其实质是使配电线路简化，实现高可靠性，并把大量现场电缆安装的施工工作移到工厂，使其在规范的工艺、质量管理环境中完成制造，既提高质量，又可节约投资、缩短工期。

提示：电缆是结构最复杂的导线。

（3）电缆选型

① 一般场所选用普通型，如 FZ-YJV 或 FZ-VV，由于聚氯乙烯绝缘电缆应用逐年减少，从技术经济性角度综合考虑，优先选用交联聚乙烯绝缘 FZ-YJV 系列产品。

② 重要场所选用阻燃型，如 FZ-ZR-YJV、FZ-ZR-VV，消防应急电源选用耐火型，优先选用 FZ-NH-YJV。

③ 特别重要场所，如智能大厦、计算机中心、广电中心、程控机房、医院病房等，应选用无卤型产品 FZ-WDN-YJY。

④ 一般工业与民用建筑，可选用单芯绞合型分支电缆，也可以选用多芯绞合型。

⑤ 智能型建筑及其他抗干扰要求高的场所，应用多芯绞合型。

⑥ 道路、桥梁、隧道等照明用电路，可以选用多芯护套型电缆。

（4）电缆截面选择

① 电缆的额定电压应等于或大于供电系统的额定电压。

② 电缆的持续允许电流应等于或大于供电负载的最大持续电流。

③ 线芯截面积应满足供电系统短路时的热稳定要求。

④ 供电网络的电压降应等于或小于规定值。

⑤ 依据电缆的额定载流量，取相近的较大截面积规格的电缆。

提示：根据回路的总负荷应预留 30%裕量，再乘以适当的同时系数，计算出额定电流。

4. 导线的颜色标志

相线 L、零线 N 和保护零线 PE 应采用不同颜色的导线。相关规定如表 2-14 所示。

表 2-14　相线 L、零线 N 和保护零线 PE 导线颜色

类　别	颜 色 标 志	线　别	备　注
一般用途导线	黄色 绿色 红色 浅蓝色	相线 L_1 相线 L_2 相线 L_3 零线或中性线 N	U 相 V 相 W 相
保护接地（接零） 中性线（保护零线）	绿/黄双色	保护接地 PE 中性线（保护零线）N	颜色组合 3∶7
二芯（供单相电源用）	红色 浅蓝色	相线 L_3 零线 N	

续表

类　别	颜色标志	线　别	备　注
三芯（供单相电源用）	红色 浅蓝色 绿/黄双色	相线 L_3 零线 N 保护零线 PE	
三芯（供三相电源用）	黄色、绿色、红色	相线 L_1、L_2、L_3	无零线
四芯（供三相四线制用）	黄色、绿色、红色 浅蓝色	相线 L_1、L_2、L_3 零线 N	

如果不能按规定要求选择导线颜色，可遵照以下要求使用导线。

① 相线可使用黄色、绿色或红色中的任一种颜色，但不允许使用黑色、白色或绿/黄双色的导线。

② 零线可使用黑色导线，没有黑色导线时也可用白色导线。如果住宅单相电源的相线使用红色导线，则零线可使用黄色或绿色导线；如果相线使用绿色导线，则零线可使用黄色导线。零线不允许使用红色导线。三相四线制的零线应使用浅蓝色或黑色的导线，也可用白色导线，不允许使用其他颜色的导线。

③ 保护零线应该使用绿/黄双色的导线，如无此种颜色导线，也可用黑色的导线。但这时零线应该使用浅蓝色或白色的导线，以使两者有明显的区别。否则，在插座接线时很容易将零线误接在保护接地（接零）极上，使用时将会造成触电等事故。保护零线不允许使用除绿/黄双色线和黑色线以外的其他颜色的导线。为了确保用电安全，保护零线应尽量选用绿/黄双色线。因日本、西欧等一些国家采用单一绿色作为保护零线，所以我国部分出口家用电器产品也用绿色线作为保护零线。因此，使用时必须注意，切不可因保护零线颜色不同而接错线。当没有充分把握时，应看说明书或拆开机器仔细辨认，也可以用万用表判别。切不可主观判断。

提示：过去，我国家用电器的保护零线都以黑色为标志，现已淘汰。现在，我国已执行国际标准，采用绿/黄双色导线作为保护零线。

2.3.2　导线绝缘层的剖削

电工常常会进行导线连接，导线绝缘层的剖削是导线连接的第一步，本节主要按剖削对象分类来讲解导线绝缘层的剖削方法。

1. 概述

（1）剖削方法分类

① 按剖削方式分类：可分为直削法、斜削法、分段剖削法三种。直削法和斜削法适用于单层绝缘导线；分段剖削法适用于多层绝缘导线。

② 按剖削对象分类：可分为塑料硬线绝缘层的剖削、塑料软线绝缘层的剖削、塑料护套线的护套层和绝缘层的剖削、橡皮线绝缘层的剖削、花线绝缘层的剖削、橡套软线的护套层和绝缘层的剖削等。

（2）剖削工具

导线绝缘层的剖削工具有电工刀、钢丝钳、剥线钳。

2. 塑料硬线绝缘层的剖削

塑料硬线绝缘层有三种剖削方法，用电工刀、钢丝钳、剥线钳都可以。

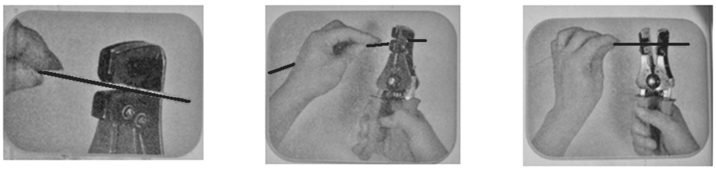
（1）用剥线钳剖削

芯线截面积为 $4mm^2$及以下的塑料硬线，一般用剥线钳或钢丝钳进行剖削，首选剥线钳进行剖削，其剖削步骤如下：

① 将导线卡入与线芯相配的钳口，如图 2-76（a）所示。

② 剥线钳刀口外侧应是需要剥去绝缘层的导线长度，如图 2-76（b）所示。

③ 用手夹紧钳柄，剥除绝缘层，如图 2-76（c）所示。



（a）　（b）　（c）

图 2-76　剥线钳剖削导线

（2）用钢丝钳剖削

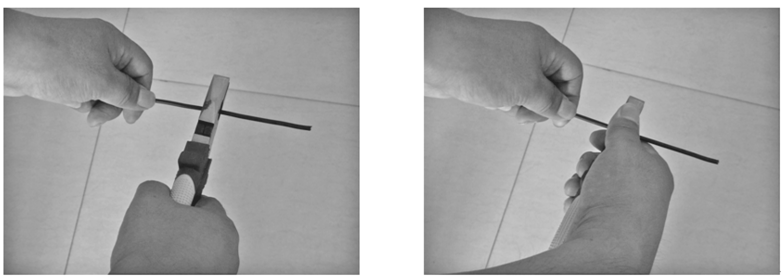
其步骤如下：

① 用左手捏住电线，根据线头所需长度，用钳头刀口轻切塑料层，但不可切入芯线，如图 2-77（a）所示。

② 用右手握住钢丝钳头部，用力向外勒去塑料绝缘层，如图 2-77（b）所示。

③ 左手把紧电线，反方向用力配合。

提示：在勒去绝缘层时，不可在钳口处加剪切力，这样会伤及线芯，甚至将导线剪断。



（a）　（b）

图 2-77　钢丝钳剥离塑料绝缘层

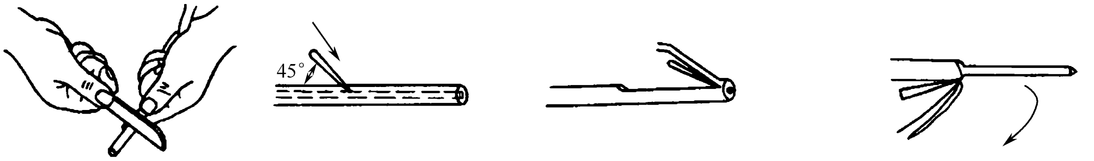
（3）用电工刀剖削

芯线截面积大于 $4mm^2$的塑料硬线，可用电工刀剖削绝缘层，步骤如下：

① 用电工刀以 45° 角倾斜切入塑料绝缘层，不可切入芯线，如图 2-78（a）、（b）所示。

② 刀面与芯线保持 25° 左右的角度，用力向线端推削，削去上面一层塑料绝缘，削出一条缺口，如图 2-78（c）所示。

③ 将下面塑料绝缘层剥离芯线，向后扳翻，最后用电工刀齐根切去，如图 2-78（d）所示。



（a）握刀姿势　（b）刀以45°切入　（c）刀以55°倾斜推削　（d）扳翻塑料层并在根部切去

图 2-78　电工刀剖削塑料硬线绝缘层

3. 塑料软线绝缘层的剖削

塑料软线绝缘层用钢丝钳或剖线钳剖削。

（1）钢丝钳剖削

操作步骤与用钢丝钳剖削塑料硬线绝缘层基本相同。注意，剖削塑料软线绝缘层时，可在左手食指上绕一圈导线，然后握拳捏导线，再两手反向同时用力，右手抽左手勒，即可把端部绝缘层剖离芯线。剖离时右手用力要大于左手。

（2）剥线钳剖削

剖削塑料软线绝缘层与剖削塑料硬线绝缘层的方法类似。

提示：塑料软线绝缘层不可用电工刀剖削，因其容易切断线芯。

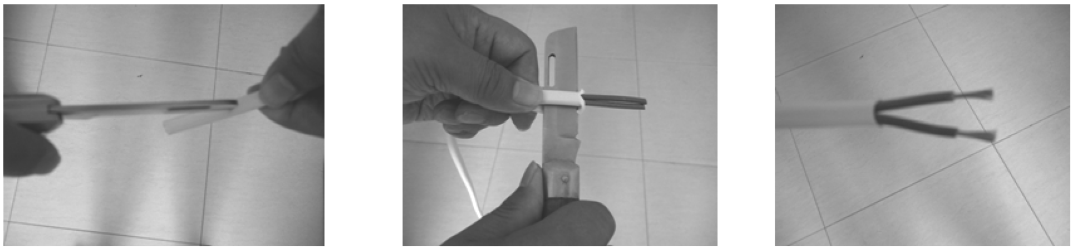
4. 塑料护套线绝缘层的剖削

塑料护套线具有两层绝缘层：护套层和每根线芯的绝缘层，可用电工刀剖削其外层护套层，用钢丝钳或剥线钳剖削内部绝缘层。用电工刀剖削塑料护套线的绝缘层，剖削步骤如下：

① 在线头所需长度处，用电工刀刀尖对准护套线中间线芯缝隙处划开护套层，不可切入线芯，如图 2-79（a）所示。

② 向后扳翻护套层，用电工刀将其齐根切去，如图 2-79（b）所示。

③ 在距离护套层 5～l0mm 处，用钢丝钳或剥线钳剖削内部绝缘层，方法与塑料软线绝缘层的剖削方法类似，如图 2-79（c）所示。



（a）　（b）　（c）

图 2-79　电工刀剖削塑料护套线绝缘层

提示：塑料护套线绝缘层的剖削分两步完成：第一步，用电工刀剖削其外层护套层；第二步，用钢丝钳或剥线钳剖削内部绝缘层。

5. 橡皮软线绝缘层的剖削

橡套软线俗称橡皮软线，用电工刀进行剖削。因它的护套层呈圆形，不能按塑料护套线

的方法来剖削，橡皮软线绝缘层的剖削步骤如图 2-80 所示。

① 用电工刀从橡皮软线端头任意两芯线缝隙处割破部分橡皮护套层，如图 2-80（a）所示。

② 把已分成两半的橡皮护套层反向分拉，撕破护套层。当撕拉难以破开护套层时，再用电工刀补割，直到所需长度为止，如图 2-80（b）所示。

③ 扳翻已被分割的橡皮护套层，在根部分别切割，如图 2-80（c）所示。

④ 由于橡皮软线一般均作为电源引线，受外界的拉力较大，故在护套层内除有芯线外，尚有 2～5 根加强麻线。这些麻线不应在橡皮护套层切口根部同时剪去，应结扣加固。结扣后的麻线余端应固定，让麻线承受外界拉力，保证导线端头不遭破坏，如图 2-80（d）所示。

⑤ 每根芯线的绝缘层按所需长度用塑料软线的剖削方法进行剖削，如图 2-80（e）所示。

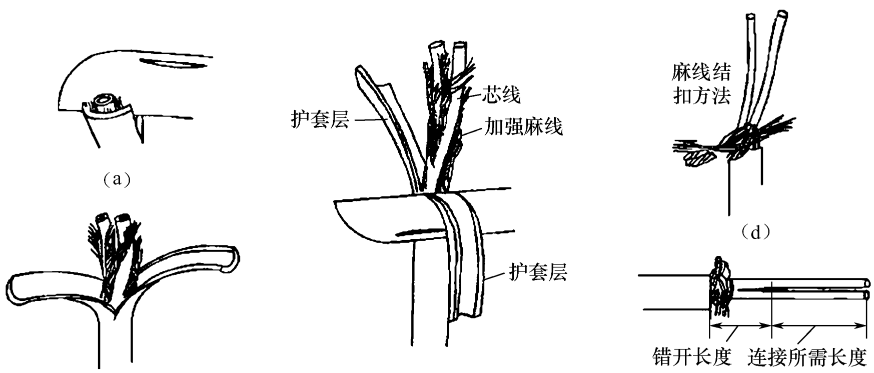


图 2-80　橡皮软线绝缘层的剖削

提示：橡皮软线的麻线应结扣加固，然后将其余端固定。

6. 花线绝缘层的剖削

花线是一种老式绝缘线，现多数用来作为各种家用电热器具的电源引线，它的结构较复杂，多股铜质细芯线先由棉纱包扎层包裹，接着是橡胶绝缘层，然后再套棉织管作为保护层，如图 2-81 所示。花线绝缘层用电工刀进行剖削。

① 从端头处开始松散编织的棉纱，松散 15mm 以上，如图 2-81（a）所示。

② 把松散的棉纱分成左右两半，分别捻成线状，并向后推缩至线头连接所需长度与错开长度（10mm）之和处，如图 2-81（b）所示。

③ 将推缩的棉纱线进行结扣，紧扎住橡皮绝缘层，不让棉织管向线头端部复伸，如图 2-81（c）所示。

④ 距棉织管约 10mm 处，用电工刀口剖削橡胶绝缘层，不能损伤芯线，如图 2-81（d）所示。

⑤ 露出棉纱层，把棉纱层按包绕方向散开，散到橡套切口根部后，拉紧后切断即可，如图 2-81（e）所示。

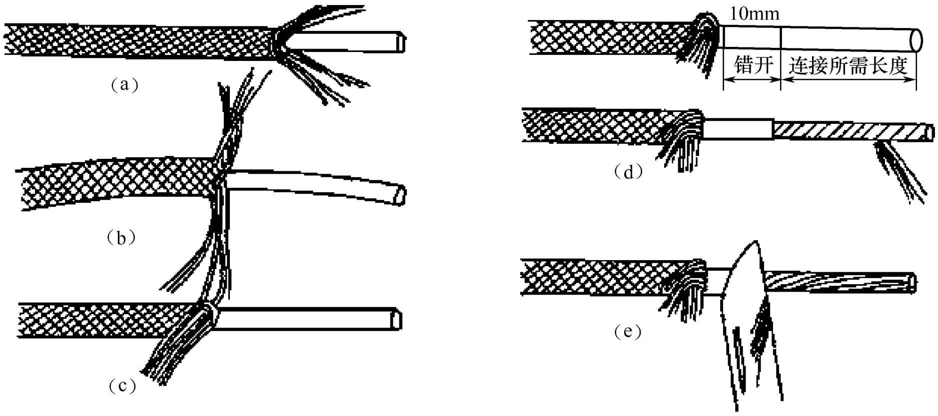


图 2-81　花线绝缘层的剖削

提示：剖削花线绝缘层时，其推缩后的棉纱线不能剪去，应紧扎住橡皮绝缘层，不让棉织管向线头端部复伸。

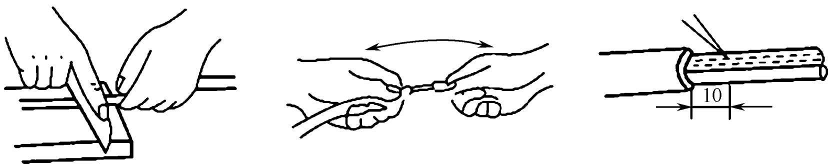
7. 铅包线绝缘层的剖削

用电工刀剖削铅包线绝缘层的具体步骤如下：

① 用电工刀在铅包层上按所需长度切下一个刀痕，将铅包层拉出来，如图 2-82（a）所示。

② 双手来回扳动切口处，铅包层便沿切口处折断，即可把铅包层套拉出，如图 2-82（b）所示。

③ 内部芯线绝缘层的剖削与塑料硬线绝缘层的剖削方法相同，如图 2-82（c）所示。



（a）剖切铅包层　（b）折扳和拉出铅包层　（c）剖削芯线绝缘层

图 2-82　铅包层的剖削

提示：铅包线绝缘层分外部铅包层和内部芯线绝缘层，剖削也分两步完成。

2.3.3　导线的连接

导线连接方法及工艺是电工必须掌握的基本技能，导线连接质量的高低直接影响线路运行，导线连接处接触电阻过大，会增加运行损耗，严重时还会成为长期运行的一个隐患，成为运行过程中可能出现故障的地方。本节主要讲解导线连接的要求、导线及电缆连接的各种方法，以及导线连接好后如何恢复导线的绝缘。

1. 导线连接的要求

当导线不够长或要分接支路及导线与设备、器具连接时，需要将导线与导线、导线与端

子连接。常用导线的线芯有单股和多股，连接方法随芯线的股数不同而不同。导线的连接方法有很多，有绞缠连接、焊接、压接、紧固螺钉和螺栓连接等，具体的连接方法应视导线的连接点而定。

按照规程，无论是绞接法还是缠绑法，连接后必须搪锡，对铝芯线都应进行焊接或压接处理。

（1）导线连接的总体要求

① 连接可靠。接头连接牢固、接触良好、电阻小、稳定性好。接头电阻不大于相同长度导线的电阻值。

② 强度足够。接头的机械强度不小于导线机械强度的 80%。

③ 接头美观。接头整体规范、美观。

④ 耐腐蚀。对于铝线与铝线相连，如果采用熔焊法，要防止残余熔剂或熔渣的化学腐蚀。对于铝线与铜线相连，要防止电化学腐蚀。在接头前后，应采用铜铝过渡，如采用铜铝接头。

⑤ 绝缘性能好。接头处绝缘强度应与导线绝缘强度一样。

⑥ $4mm^2$ 以下的单股线，采用绞接法。$6mm^2$ 以上单股线多用缠绑法，而截面积较小的单股线切削尺寸应比截面积较大的单股线切削尺寸要长。

导线的切削长度和绑线直径如表 2-15 所示。

表 2-15　导线的切削长度和绑线直径

导线截面积（mm^2）	切削长度（mm）	绑线直径（mm）	绑 线 长 度
2.5 以下	120（100）		一般为 500mm 以上
4	140（120）		
6	60	1.6	
10	120	2.0	
16	200	2.0	

（2）导线连接时的要求

① 剖削导线绝缘层时，不能损伤芯线。

② 导线缠绕方法要正确。

③ 导线缠绕后要平直、整齐和紧密。

④ 截面积为 $10mm^2$ 及以下的单股导线可以直接与设备、器具的端子连接。

⑤ 截面积为 $2.5mm^2$ 及以下的多股铜芯导线应先拧紧，搪锡或压接端子后再与设备及器具的端子连接。

⑥ 多股铝芯线和截面积大于 $2.5mm^2$ 的多股铜芯导线应焊接或压接接线端子后再与设备及器具的端子连接。

提示：导线的连接工艺是电工的基本技能，必须熟练掌握。

2. 铜芯导线的连接

1）单股铜芯导线的连接

单股铜芯导线的连接常用绞缠接法进行连接。

（1）单股小截面导线的直线连接

单股小截面导线的直线连接步骤，如图 2-83 所示。

① 剥去线头绝缘，约 120mm。

② 清除芯线表面氧化层。

③ 两线头的芯线以 X 形相交，交叉点距绝缘层 50mm，如图 2-83（a）所示，相互缠绕 5～8 圈，如图 2-83（b）所示。

④ 扳直两线头，如图 2-83（c）所示，将两个线头在芯线上紧贴并绕 6～8 圈，用钢丝钳切去余下的芯线并钳平芯线的末端，如图 2-83（d）所示。

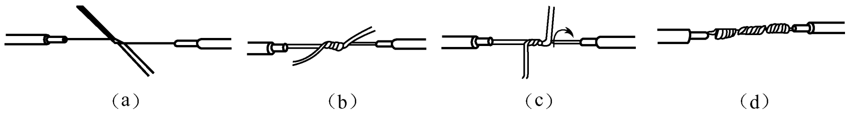


图 2-83　单股铜芯导线的直接连接

提示：铜芯导线在进行连接前应清除芯线表面氧化层。

连接要求如下：

① 连接好后直线度要好。

② 左右对称。

③ 圈与圈之间没有缝隙。

④ 连接的有效长度离绝缘层 5～10mm。

⑤ 机械强度符合要求。

（2）单股小截面导线“T”形连接

单股小截面导线“T”形连接步骤如下。

① 剥削长度：干线剥削 30mm，支路线芯剥削 110mm。

② 打结法：首先环绕成结状，再把支路芯线头扳直，顺时针紧密缠绕 5～8 圈，钳切余线、毛刺，如图 2-84（a）所示。

③ 平绕法：单股支路芯线的线头与干线芯线十字相交，支路芯线根部留出 3～5mm，然后顺时针方向缠绕支路芯线，缠绕 5～8 圈后钳切余下芯线，并钳平芯线末端，如图 2-84（b）所示。

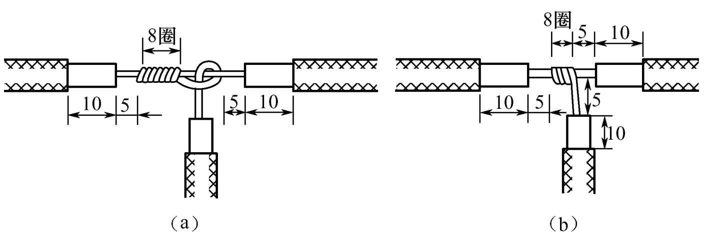


图 2-84　单股小截面导线“T”形连接

（3）单股大截面导线直接连接

截面积不小于 $6mm^2$ 的单股导线直接连接时，需要加辅助线缠绕，具体连接步骤如下：

① 剥削导线绝缘层约 60mm。

② 清除芯线表面氧化层。

③ 将两根导线水平相对，并列平放。

④ 用辅助线把两根并列的导线紧密地缠绕起来，从中间往两边进行缠绕。缠绕长度大约为 50mm，然后用钳子把两根剩余的约 10mm 的大截面导线线头扳 180°，反方向压在辅助线上。然后用辅助线在导线上继续缠绕 3～5 圈。钳去余线，钳平末端。

（4）单股大截面导线“T”形连接

单股大截面导线“T”形连接步骤如下：

① 导线绝缘层剥削长度为干线约为 60mm，支路线约为 70mm。

② 清除芯线表面氧化层。

③ 用钳子将支路线已剥绝缘段约 60mm 长处扳成 90°，并把支路线和主干线并列靠拢成“T”形。

④ 用辅助线把两根并列靠拢的线紧密缠绕起来，从中间往两边进行缠绕。缠绕长度大约为 50mm，然后用钳子把支路线剩余约 10mm 的导线线头板 180°，反方向压在辅助线上。然后用辅助线在导线上继续缠绕 3～5 圈。钳去余线，钳平末端。

（5）单股异径线的直线连接

单股异径线的直线连接的剥削长度：大截面导线约 70mm，小截面导线约 250mm。操作步骤如下：

① 清除芯线表面氧化层。

② 把小截面导线放在大截面导线中部位置，往绝缘层方向缠绕，单绕 8～10 圈。

③ 把大截面导线折过来紧压住已缠绕的小截面导线。

④ 把小截面导线继续在大截面导线上共绕 6～8 圈。钳去余线，钳平末端，如图 2-85 所示。

（6）软、硬线间的连接

软、硬线间的连接步骤如下：

①剥削长度为硬线约 70mm，软线约 250mm。

② 把软线放在硬线中部位置，往绝缘层方向缠绕，单绕 8～10 圈。

③ 把硬线折过来紧压住已缠绕的软线。

④ 把软线继续在大截面导线上共绕 6～8 圈。钳去余线，钳平末端，如图 2-86 所示。

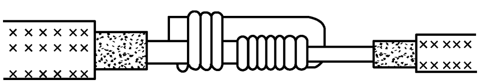


图 2-85　单股异径线的直线连接

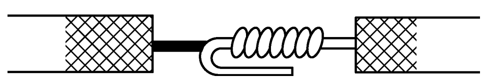


图 2-86　软、硬线间的连接

2）多股导线连接

（1）7 股导线的直接连接

7 股导线直接连接的步骤如下：

① 将剥去绝缘层导线的芯线头散开并拉直，接着把离绝缘层一端 1/3 线段的线绞紧，余下的 2/3 线头呈伞状分布，并拉直线芯，如图 2-87（a）所示。

② 把两个伞状线头隔股对插，并钳平两端线芯，如图 2-87（b）所示。

③ 把一端的 7 股芯线按 2、2、3 股分成三组，接着把第一组的 2 股芯线扳起，垂直于芯线，并按顺时针方向缠绕，如图 2-87（c）所示。

④ 缠绕两圈后，将余下芯线向右扳直，再把下边第二组的 2 股芯线扳起使其垂直于线芯，也按顺时针方向紧紧压住前 2 股扳直的芯线缠绕，如图 2-87（d）所示。

⑤ 缠绕两圈后，将余下的芯线向右扳直，再把下边第三组的 3 股芯线扳起，按顺时针方向紧压前 4 股扳直的芯线，向右旋转，如图 2-87（e）所示。

⑥ 缠绕 3 圈后，切去每组多余的芯线，钳平线端，如图 2-87（f）所示。

⑦ 用同样的方法再缠绕另一边的芯线。

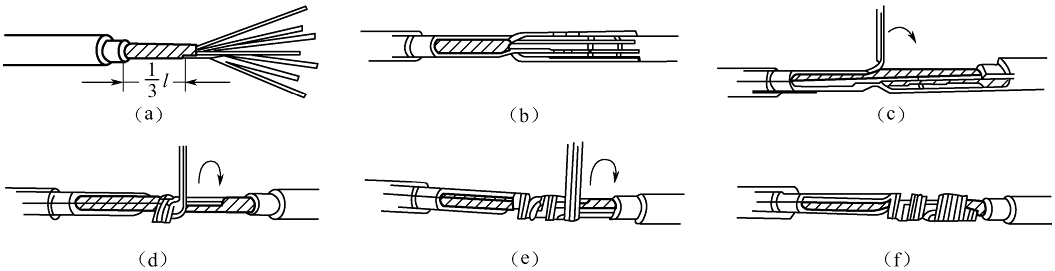


图 2-87　7 股铜芯导线的直接连接

（2）7 股导线的“T”形分支连接

7 股导线的“T”形分支连接的具体步骤如下：

① 把分支芯线散开钳直，接着把离绝缘层最近的 1/8 段芯线绞紧，把支路线头 7/8 的芯线分成两组，一组 4 股，另一组 3 股，并排列整齐，然后用旋凿把干线的芯线撬分成两组，再把支线中 4 股芯线的一组插入干线两组芯线中间，而把 3 股芯线的一组支线放在干线芯线的前面，如图 2-88（a）所示。

② 把右边 3 股芯线的一组在干线一边按顺时针方向紧紧缠绕 3～4 圈，钳平线端，再把左边 4 股芯线的一组芯线按逆时针方向缠绕，如图 2-88（b）所示。

③ 逆时针缠绕 4～5 圈后，钳平线端，如图 2-88（c）所示。

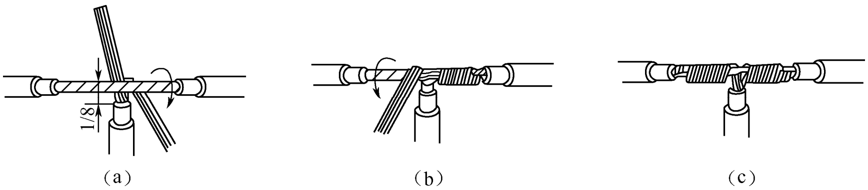


图 2-88　7 股铜芯导线的“T”字形分支连接

（3）　多股导线与单股导线“T”形分支连接

具体步骤如下：

① 按单股导线芯线直径约 20 倍的长度剥削多股线连接处的绝缘层，并用螺丝刀把多股线分成均匀的两组，分时离绝缘层约 5mm，如图 2-89（a）所示。

② 按多股导线的单股芯线直径的 100 倍长度剥削单股导线的绝缘层，拉直芯线插入多股芯线中间，绝缘层离多股线芯约 5mm，如图 2-89（b）所示。

③ 用钳子把多股线插缝钳平钳紧，单股芯线顺时针缠绕，绕圈必须与多股导线垂直，并应圈圈紧密，绕足 10 圈，钳切余线，钳平毛刺，如图 2-89（c）所示。

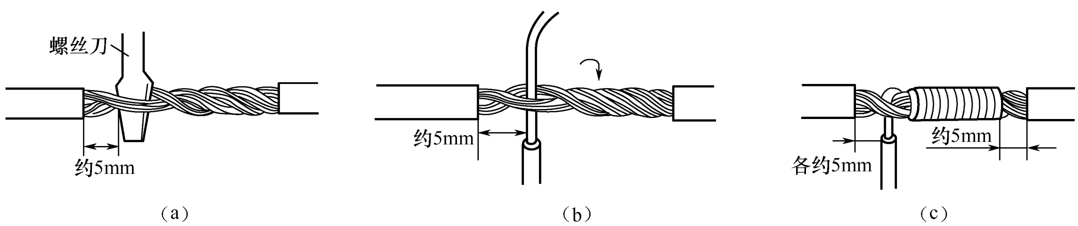


图 2-89　单股铜芯导线与多股铜芯导线的“T”字形分支连接

提示：多股导线与单股导线“T”形分支连接时，应先用螺丝刀把多股线分成均匀的两组。

（4）19 股铜芯导线的直线连接

19 股铜芯导线的直线连接方法与 7 股芯线基本相同。若芯线太多可剪去中间的几股芯线。连接后，在连接处尚须进行钎焊，以增加其机械强度和改善导电性能。

（5）19 股铜芯导线的“T”形分支连接

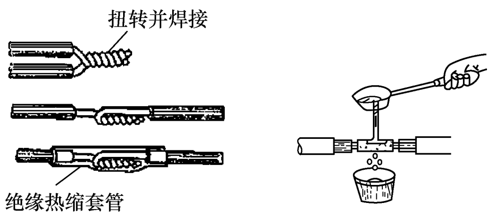
19 股铜芯导线的“T”形分支连接与 7 股芯线也基本相同，只是将支路导线分成 9 股和 10 股，并将 10 股芯线插入干线芯线中，各向左右缠绕。

3. 导线焊接连接

铜芯导线接头处应进行锡焊处理。焊接应根据焊接点的不同连接方式及截面积而采用不同的焊接方法。

（1）电烙铁锡焊

如果铜芯导线截面积不大于 $10mm^2$，它们的接头可用 150W 电烙铁进行锡焊。可以先将接头上涂一层氯化锌液体或无酸焊锡膏，待电烙铁加热后进行锡焊即可，然后套上绝缘套管，如图 2-90（a）所示。



（a）锡焊　（b）浇焊

图 2-90　导线焊接连接

（2）浇焊

对于截面积大于 $16mm^2$ 的铜芯导线接头，常采用浇焊法。首先将焊锡放在化锡锅内，用喷灯或电炉使其熔化，待表面呈磷黄色时，说明焊锡已经达到高热状态，然后将涂有无酸焊锡膏的导线接头放在锡锅上面，再用勺盛上熔化的锡，从接头上面浇下，如图 2-90（b）所示。因为起初接头较凉，锡在接头上不会有很好的流动性，所以应持续浇下去，使接头处温度提高，直到全部缝隙焊满为止。最后用抹布擦去焊渣即可。

提示：在用浇焊法连接导线时，接头处要用锡将全部缝隙焊满。

（3）焊接安全知识

① 使用中的电烙铁不可搁置在木板上，要搁置在金属丝制成的搁架上。

② 不可用烧死（焊头因氧化不吃锡）的烙铁头焊接，以免过热损坏焊件。

③ 不准甩动使用中的电烙铁，以免锡珠溅出伤人。

提示：电烙铁金属外壳必须接地。新的电烙铁在使用前要将其头部涂上一层薄薄的锡。

4. 铝芯线压接连接

由于铝极易氧化，而铝氧化膜的电阻率很高，严重影响导线的导电性能，所以铝芯线直线连接不宜采用铜芯线的方法进行，大截面多股铝芯导线常用压接法连接（此方法同样适用于多股铜芯线及钢绞线）。

提示：铜芯线与铝芯线连接方法不一样，铜芯线一般采用直接绞缠法连接，铝芯线常用压接法连接。

（1）导线钳压接

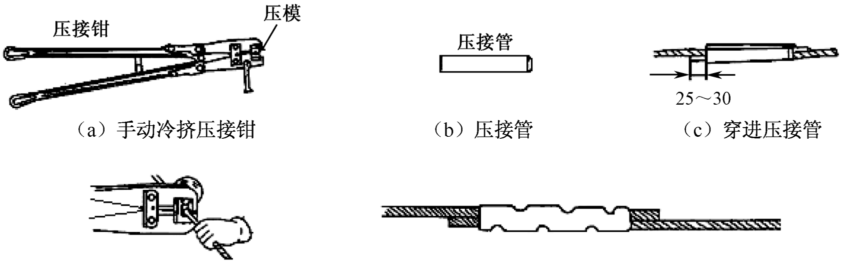
导线钳压接通常使用手动冷挤压接钳和压接管（又称钳接管），如图 2-91（a）、（b）所示。其方法和步骤如下：

① 根据多股导线材料和型号规格选择合适的压接管（铝绞线的压接管和钢芯铝绞线的压接管不同，不能互相替代），如图 2-91（b）所示。

② 用钢丝刷清除铝芯线表面及压接管内壁的氧化层或其他污物，并在其外表涂上一层导电膏（或中性凡士林）。

③ 将两根导线线头相对插入压接管内，并使两线端穿出压接管 25～30mm，如图 2-91（c）所示。

④ 如图 2-87（d）所示进行压接。压接时，第一道压坑压在铝芯线线端一侧，不可压反，压接坑的距离和数量应符合技术要求。一般来讲，压接坑的数目与连接点所处的环境有关，通常情况下，室内为 4 个，室外为 6 个。压接好的导线如图 2-91（e）所示。



（a）手动冷挤压接钳　（b）压接管　（c）穿进压接管

（d）进行压接　（e）压接后的铝芯线

图 2-91　压接钳和压接管导线钳压接

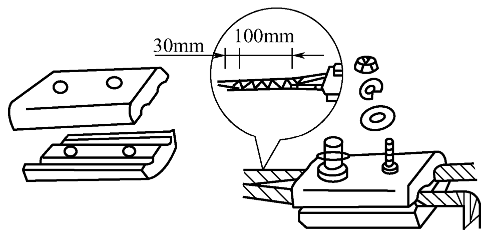
提示： 导线钳压接必须与压模配套。

（2）沟线夹螺栓压接

对于架空线路，导线由于受制造长度的限制，有时不能满足线路长度的要求，也有时存在破损或断股现象。这样在架线时，就必须对导线进行连接和修补。如果接头在跳线处（耐张杆两侧导线间的连接），便可用线夹连接，如图 2-92（a）所示。

此法适用于截面较大的架空铝芯线的直线和分支连接。连接前，先用钢丝刷除去导线线头和沟线槽内壁上的氧化层和污物，涂上导电膏（或中性凡士林），然后将导线卡入线槽，旋紧螺栓，使沟线夹紧紧夹住线头而完成连接，如图 2-92（b）所示。为防止螺栓松动，应套以弹簧垫圈后压紧螺栓。

提示： 低压线路多采用压接法连接，高压线路采用线夹连接。



（a）线夹　（b）连接完成

图 2-92　沟线夹螺栓压接

5. 导线与接线桩连接

导线与接线桩的连接主要适用于铝芯导线的连接，是小截面铝芯导线经常采用的连接方法，且常用螺钉压接法。

在各种电器或电气装置上，均有接线桩供连接导线用。常用的接线桩有针孔状螺钉压接和螺钉平压式两种。导线与接线桩连接要求做到芯线不外裸，不被螺钉压断；将芯线折成双股插入较大针孔；多股芯线绞紧后插入针孔。

1）导线与针孔端子连接

（1）螺钉压接法

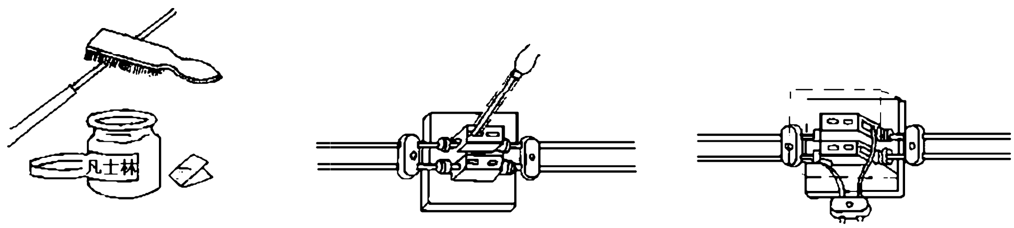
螺钉压接法适用于负荷较小的单股铝芯导线的连接，其步骤如下：

① 把削去绝缘层的铝芯线头用钢丝刷除去表面的铝氧化膜，并涂上导电膏（或中性凡士林），如图 2-93（a）所示。

② 直线连接时，先把每根铝芯导线在接近导线端处卷上 2～3 圈或弯成“Ω”形，以备线头断裂后再次连接用，然后把 4 个线头两两相对插入两支瓷接头的 4 个接线桩上，最后旋紧接线桩上的螺钉，如图 2-93（b）所示。

③ 分支连接时，要把支路导线的两个芯线头分别插入两个瓷接头的两个接线桩上，然后旋紧螺钉，如图 2-93（c）所示。

提示：铝芯导线用螺钉压接法连接好后，应在瓷接头上加罩铁皮或木罩盒盖。



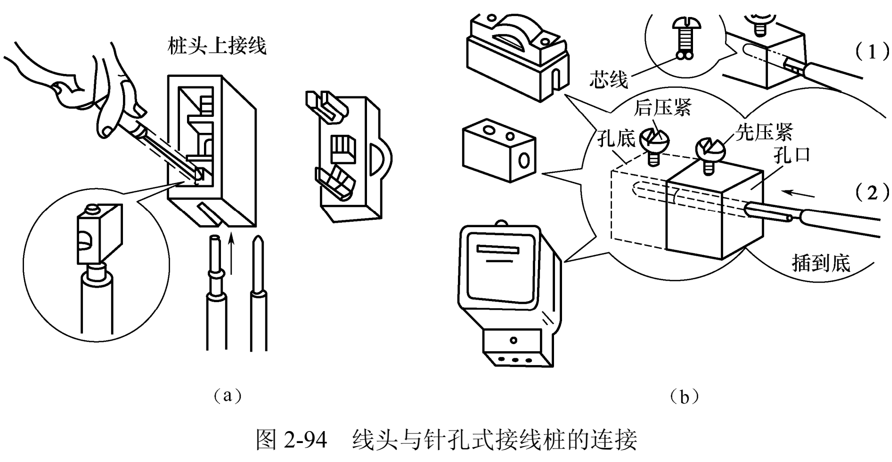
（a）刷去氧化膜，涂上凡士林　（b）直线连接　（c）分路连接

图 2-93　单股铝芯导线的螺钉压接法连接

（2）针孔式连接桩连接

如果连接处在插座或熔断器附近，则不必用瓷接头，可用插座或熔断器上的接线桩进行过渡连接，如图 2-94 所示。

在针孔式接线桩头上接线时，如果单股芯线与接线桩插线孔大小适宜，只要把芯线插入针孔后旋紧螺钉即可，如图 2-94（a）所示；如果单芯线较细，则要把芯线折成双根再插入针孔，如图 2-94（b）所示。



（a）　（b）

图 2-94　线头与针孔式接线桩的连接

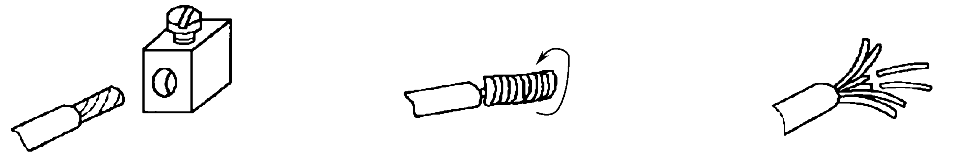
（3）多股芯线与针孔接线桩连接

① 若针孔与导线粗细正好合适，只需把线头绞紧插入针孔接线桩即可，如图 2-95（a）所示。

② 若针孔过大，需要在线头缠绕一定厚度同材质线，导线粗细达到与针孔合适后再连接，如图 2-95（b）所示。

③ 若针孔过小，需剪掉线头中的几股线，导线粗细达到与针孔合适后再连接，如图 2-95（c）

所示。



（a）针孔合适的连接　　（b）针孔过大时线头的处理　　（c）针孔过小时线头的处理

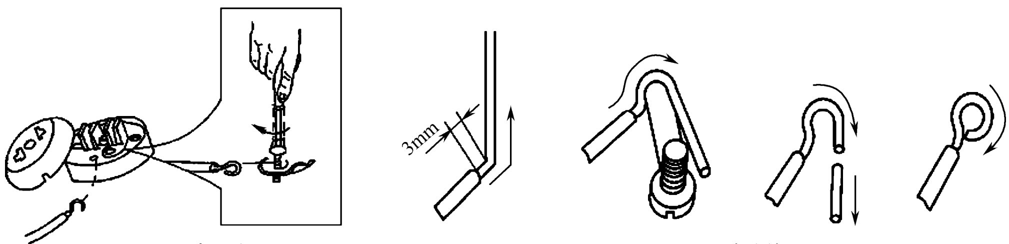
图 2-95　多股芯线与针孔接线桩连接

提示：如果是多股细丝的软线芯线，必须先绞紧再插入针孔，切不可有细丝露在外面，以免发生短路事故。

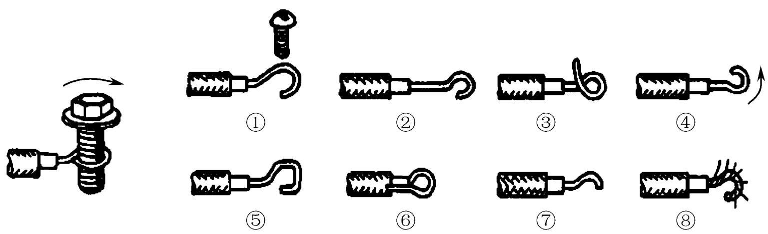
2）螺钉平压式接线桩的连接

在螺钉平压式接线桩头上接线时，如果是较小截面单股芯线，则必须把线头弯成环状，小截面导线的弯圈方法如图 2-96（a）所示。图 2-96（b）为正确连接方法，图 2-96（c）列举出了几种错误的连接方法。弯曲的方向应与螺钉拧紧的方向一致，导线末端的处理与固定方法如图 2-97 所示。

提示：较大截面单股芯线与螺钉平压式接线桩头连接时，线头须装上接线耳，由接线耳与接线桩连接。

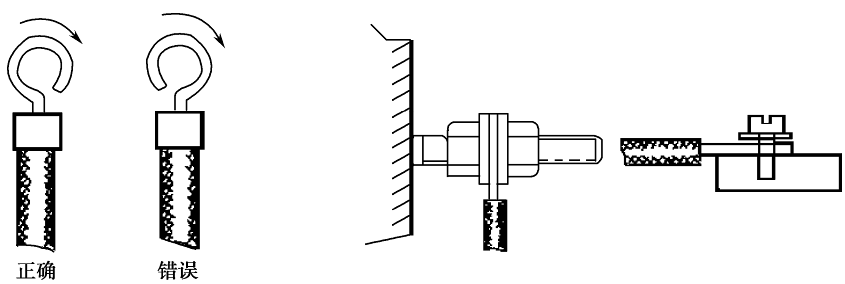


（a）弯圈方法　　（b）正确连接



（c）不正确连接

图 2-96　小截面导线的端头弯圈方法及连接



（a）导线末端的处理　　（b）导线末端的固定

图 2-97　导线末端的连接

提示：导线与接线桩连接时芯线应不外裸，不能被螺钉压断。

3）导线与瓦形接线桩的连接

导线与瓦形接线桩的连接如图 2-98 所示。

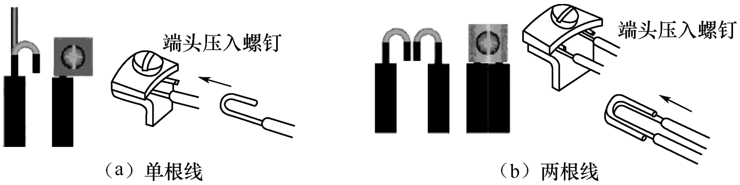


图 2-98　导线与瓦形接线桩的连接

连接步骤如下：

（1）将单股铜芯线弯成“U”形（略大于螺栓直径）。

（2）将瓦形接线桩螺栓瓦片松开。

（3）将线芯放进接线桩。

（4）将螺栓瓦片装回原位，拧紧即可。

如果两根线头接在同一瓦形接线桩上时，两根单股的线端都弯成“U”形，然后一起放进接线桩上，用螺栓瓦片压紧。

如果瓦形接线桩两侧有挡板，则线芯不用弯成“U”形，只需松开螺栓，线芯直接插入瓦片下面拧紧螺栓即可。

提示：

①线芯的长度应比接线桩瓦片的长度长 2～3mm，而且导线绝缘离接线桩的距离不应大于 2mm。

② 当线芯直径太小，接线桩压不紧时，应将线头折成双股插入。

4）导线与线鼻子的连接

① 常见线鼻子的形状如图 2-99 所示。管式和开口式线鼻子用于 $10mm^2$ 以上导线，其他线鼻子用于 $6mm^2$ 以下导线。

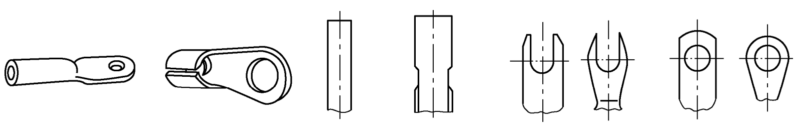


图 2-99　常见线鼻子的形状

② 冷压线鼻子：图 2-100 中列举出了几种不同的线鼻子压接情况。

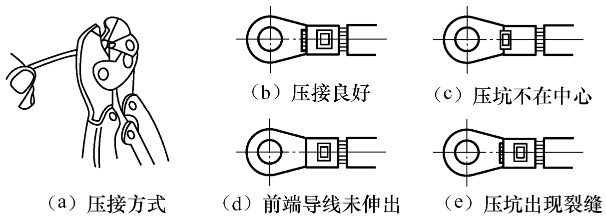


图 2-100　线鼻子压接质量举例

6. 导线绝缘层的恢复

导线的绝缘层破损后，必须恢复；导线连接后，也必须恢复绝缘。恢复后的绝缘强度不应低于原有绝缘层。通常用黄蜡带、涤纶薄膜带和黑胶带作为恢复绝缘层的材料，一般选用20mm 宽的黄蜡带和黑胶带，包缠也方便。

（1）直线连接的绝缘恢复

直线连接接头的绝缘恢复常采用绝缘带的包缠方法，具体步骤如下：

① 将黄蜡带从导线左边完整的绝缘层开始包缠，包缠两根黄蜡带宽度后，方可进入无绝缘层的芯线部分，如图 2-101（a）所示。

② 包缠时，黄蜡带与导线保持约 45°～55°的倾斜角，每圈压叠带宽的 1/2，如图 2-101（b）所示。

③ 包缠一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包缠一层黑胶布，也要每圈压叠带宽的 1/2，如图 2-101（c）、（d）所示。

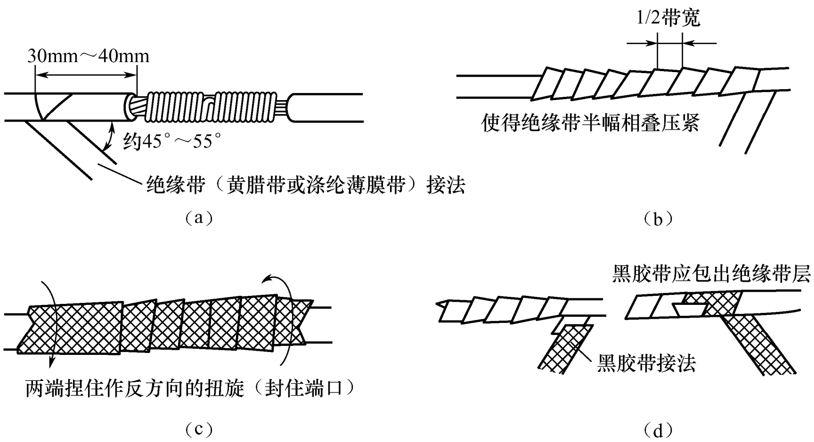


图 2-101　绝缘带的包缠

（2）T 形连接的绝缘恢复

具体步骤如下：

① 首先将黄蜡带从接头左端开始包缠，每圈叠压带宽的 1/2 左右，如图 2-102（a）所示。

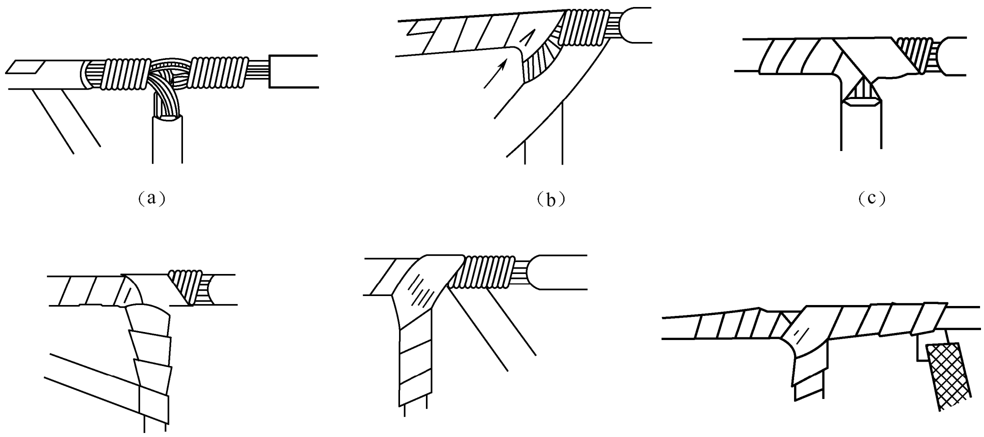
② 缠绕至支线时，用左手拇指顶住左侧直角处的带面，使它紧贴于转角处芯线，而且要使处于接头顶部的带面尽量向右侧斜压，如图 2-102（b）所示。

③ 当围绕到右侧转角处时，用手指顶住右侧直角处带面，将带面在干线顶部向左侧斜压，使其与被压在下边的带面形成 X 状交叉，然后把带再回绕到左侧转角处，如图 2-102（c）所示。

④ 使黄蜡带从接头交叉处开始在支线上向下包缠，并使黄蜡带向右侧倾斜，如图 2-102（d）所示。

⑤ 在支线上绕至绝缘层上约两个带宽时，黄蜡带折回向上包缠，并使黄蜡带向左侧倾斜，绕至接头交叉处，使黄蜡带围绕过干线顶部，然后开始在干线右侧芯线上进行包缠，如图 2-102（e）所示。

⑥ 包缠至干线右端的完好绝缘层后，再接上黑胶带，按上述方法包缠一层即可，如图 2-102（f）所示。



(a)　(b)　(c)

(d)　(e)　(f)

图 2-102　T 字形连接接头的绝缘恢复

（3）绝缘恢复注意事项

① 在 380V 线路上恢复绝缘时，必须先包缠 1～2 层黄蜡带，然后再包缠一层黑胶带。

② 在 220V 线路上恢复绝缘时，应先包缠一层黄蜡带，然后再包缠一层黑胶带，也可只包缠两层黑胶带。

③ 绝缘带包缠时，不能过疏，更不允许露出芯线，以免造成触电或短路事故。

提示：绝缘带平时不可放在温度很高的地方，也不可浸染油类。绝缘恢复时绝缘带包缠并非层数越多越厚就好，只要符合绝缘要求就好。

7. 电缆连接

电缆敷设好后，各线段必须连接为一个整体，连接点称为接头。电缆线路末端的接头称为终端头，中间的接头则称为中间接头。它们的主要作用是使电缆保持密封，使线路畅通，并保证电缆接头处的绝缘等级，使其安全可靠地运行。

提示：电缆的连接工艺也就是电缆头的制作工艺。

1）电缆头基本要求

（1）保证足够的绝缘强度

① 保证密封：电缆制成以后及在整个运行过程中都必须保证其密封，特别是油浸渍纸绝缘电缆，若电缆头密封不良，不仅会漏油使电缆绝缘干枯，而且潮气也会侵入电缆内部使电缆绝缘性能降低。因此，保证密封是对电缆头最重要的要求之一。

② 绝缘强度：应保证电缆头不低于电缆本身的绝缘强度，而且应具有足够的机械强度，以抵御在线路上可能遭受的机械应力，包括外来机械损伤及短路时的电动应力。线芯接头应接触良好，接触电阻必须低于同长度导体电阻的 1.2 倍。为便于施工，还要求电缆头的结构简单、紧凑、轻巧，但也应保证具有一定的电气距离，以避免短路或击穿。

③ 干燥施工：为使电缆头满足以上基本要求，制作电缆头时除使用吸水性好、透气性小，介质损失角正切值 tgφ 低和电气稳定性好的材料外；还必须保证在施工过程中手、工具、绝缘材料的清洁干燥和电缆本身的干燥等，保证高水平的操作工艺。

（2）电缆的连接要求

电缆终端头和电缆中间接头连接时必须满足以下要求：

① 封闭严密。

② 填料灌注饱满，无气泡，无渗漏现象。

③ 电缆头的安装须牢固可靠，相序正确。

④ 直埋电缆接头的保护设施要完整，标志准确清晰。

提示：铠装电缆或铅包电缆的金属外皮，两端应可靠接地，接地电阻不应超过 10Ω。

2）电缆头施工基本要求

（1）施工前准备

电缆头施工之前必须充分准备，应具备良好的施工条件。

① 施工所需要的材料、工具、电缆终端盒或中间接头的壳体、套管及附件等均应在施工前准备齐全，并均须经过检验合格方可应用。采用的附加绝缘材料除电气性能应满足要求外，还应与电缆本体绝缘具有相容性。

施工前还应再次做好对线路的核对工作，如电压等级、电缆截面积等。

② 施工现场的环境温度及电缆本体的温度，对油浸纸绝缘电力电缆一般应在 50℃以上，否则应采取人工加温，对塑料绝缘电缆则放宽至 0℃以上。

③ 施工现场应保持清洁、干燥、光线充足，周围空气相对湿度 70%及以下为宜，并且不应含有导电粉尘和腐蚀性气体，否则应提高环境温度，搭篷防尘，增设人工照明及加强通风。严禁在雾天或雨天施工。

（2）施工要求

为保证电缆头的质量，在施工过程中还必须做到：

① 施工操作从剥切电缆开始到施工完毕，必须连续进行，时间越短越好，以防绝缘吸潮。同时在操作时要特别防止汗水浸入绝缘材料内。

② 剥切电缆时，不允许损伤线芯和应保留的绝缘层，且使线芯沿绝缘表面至最近的接地点（屏蔽或金属护套端部）的最小距离应符合要求，1kV 电缆为 50mm，6kV 电缆为 60mm，10kV 电缆为 125mm。

③ 电缆终端头的出线应保持固定位置，并保证必要的电气间距和合适的弯曲半径。

④ 电缆头在施工完成后与系统或设备搭接时，应与系统核对相位，确认无误后方可结束工作。

提示：在整个施工过程中必须要有可靠的安全措施，保证安全工作，防止事故发生。

3）电缆接头制作要求

① 制作电缆终端与中间接头，从剥切电缆开始应连续操作直至完成，缩短绝缘暴露时间。剥切电缆时不应损伤线芯和保留的绝缘层。附加绝缘的包绕、装配、热缩等应清洁。

② 电缆终端和中间接头应采取加强绝缘、密封防潮、机械保护等措施。6kV 及以上电力电缆的终端和中间接头，还应有改善电缆屏蔽端部电场集中的有效措施，并确保外绝缘相间和对地距离。

③ 塑料绝缘电缆在制作终端头和中间接头时，应彻底清除半导电屏蔽层。对包带石墨屏蔽层，应使用溶剂擦去石墨痕迹；对挤出屏蔽层，剥除时不得损伤绝缘表面，屏蔽端部应平整。

④ 电缆线芯连接时，应除去线芯和连接管内壁油污及氧化层。压接模具与金具应配合恰当。压缩比应符合要求。压接后应将端子或连接管上的凸痕修理光滑，不得残留毛刺。采用锡焊连接铜芯，应使用中性焊锡膏，不得烧伤绝缘。

⑤ 三芯电力电缆接头两侧电缆的金属屏蔽层（或金属套）、铠装层应分别连接良好，不

得中断，跨接线的截面应不小于接地线截面。直埋电缆接头的金属外壳及电缆的金属护层应进行防腐处理。

⑥ 三芯电力电缆终端处的金属护层必须接地良好；塑料电缆每相铜屏蔽和钢铠应锡焊接地线。

⑦ 塑料电缆宜采用自粘带、粘胶带、胶粘剂（热熔胶）等方式密封，塑料护套表面应打毛，粘接表面应用溶剂除去油污，粘接应良好。

提示：电缆通过零序电流互感器时，电缆金属护层和接地线应对地绝缘，电缆接地点在互感器以下时，接地线应直接接地；接地点在互感器以上时，接地线应穿过互感器接地。

4）电缆头制作工具及辅材

① 电缆头制作工具：手锤、螺钉旋具、电工刀、钢锯、剖切刀、液压钳、喷灯或大功率工业用电吹风机、电烙铁、钢丝钳、小圆锉、平锉、钢丝刷和胀口器等。

② 电缆头制作辅材：交联聚氯乙烯电缆终端头附件（如图 2-103 所示）、接地卡子、汽油、16mm^2 铜编织带、2.5mm^2 单股铜线、塑料带、白纱布、导电膏（中性凡士林）、铜接线耳、砂布、焊锡膏、焊锡丝、焊锡锅等。



（a）10kV 三芯冷缩终端头组件　（b）10kV 三芯冷缩中间接头组件

（c）10kV 三芯热缩终端头组件　（d）10kV 三芯热缩中间接头组件

图 2-103　电缆头的制作辅材

5）电缆头制作工艺

电缆头的种类较多，特别是橡塑绝缘电缆及其附件发展较快。常用的有自粘带绕包型、热缩型、预制型、模塑型、弹性树脂浇注型，还有传统的壳体灌注型、环氧树脂型等。虽然电缆头的种类不同，但其制作工艺却大同小异，下面介绍热收缩和干包式电缆头的制作工艺。

（1）热收缩电缆终端头制作

其制作过程如下：

① 用电缆卡将电缆固定在支架上。

② 剥切电缆，按如图 2-104 所示尺寸剥去电缆外护层、钢带（若有钢带）和内护层。切取长度 L：户内为 550mm、户外为 750mm；L_1 取 400 mm；j 为端子孔深加 8mm。锯钢带时，先用直径 2mm 左右的铜芯线芯在距外护层 30mm 处扎上三道，后用钢锯锯去下端部多余的钢带，在钢带端部处留下 20mm 的内护层，并去掉其端部内的填料。最后将三线芯外的铜屏蔽层头部用塑料粘胶带固定好。

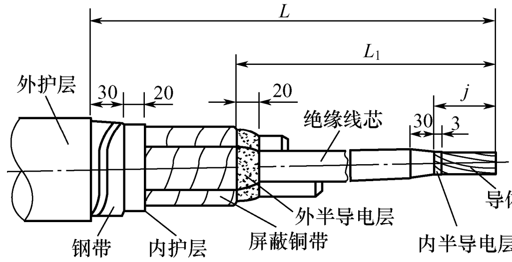


图 2-104　三芯电缆接头——电缆剖切图

③ 焊接接地线。焊接前，要先用砂布或钢丝刷净焊接表面的氧化层，然后将铜带散开 150mm 左右并编成三只小辫，接着再用铜线将接地线绑扎在铠装层上，最后与铜屏蔽层、铠装层焊接，如图 2-105（a）所示。

④ 包填充胶，并使其成橄榄状，后清洗其表面，最后固定三指手套。

⑤ 剥切屏蔽铜带和半导电层（对 10kV 三芯电缆）：从分支套指端上部 55mm 处开始剥去屏蔽铜带。保留 20mm 半导电层，其余剥去，保留的半导电层端部应按安装工艺一般程序和要求处理。

⑥ 压接接线端子：先按接线端子孔深加 8mm 的长度剥去线芯末端绝缘。然后压接接线端子，压后除去毛刺和飞边。

⑦ 安装应力管：用清洗剂擦净绝缘表面。注意：擦过半导电层的清洗布不可再擦绝缘层。在绝缘层表面均匀地涂一层硅脂，套入应力管，应力管下端覆盖到电线屏蔽铜带上面（10kV 电缆为 20mm）。自下而上地加热收缩，避免应力管与线芯绝缘层之间留有气隙。

⑧ 安装绝缘管：用填充胶带缠绕应力管端部与线芯绝缘之间的阶梯，使之成为平滑的锥形过渡面。再用密封胶带缠绕分支套指端（二层）。然后，套绝缘管（10kV 三芯电缆套到分支套指端根部），再由下向上加热收缩。

⑨ 安装密封管：切去多余长度的绝缘管，10kV 电缆切到与线芯绝缘末端平齐。接着用密封胶带缠绕填平接线端子压坑及电缆绝缘与接线端子之间的间隙。最后，套密封管，加热收缩。

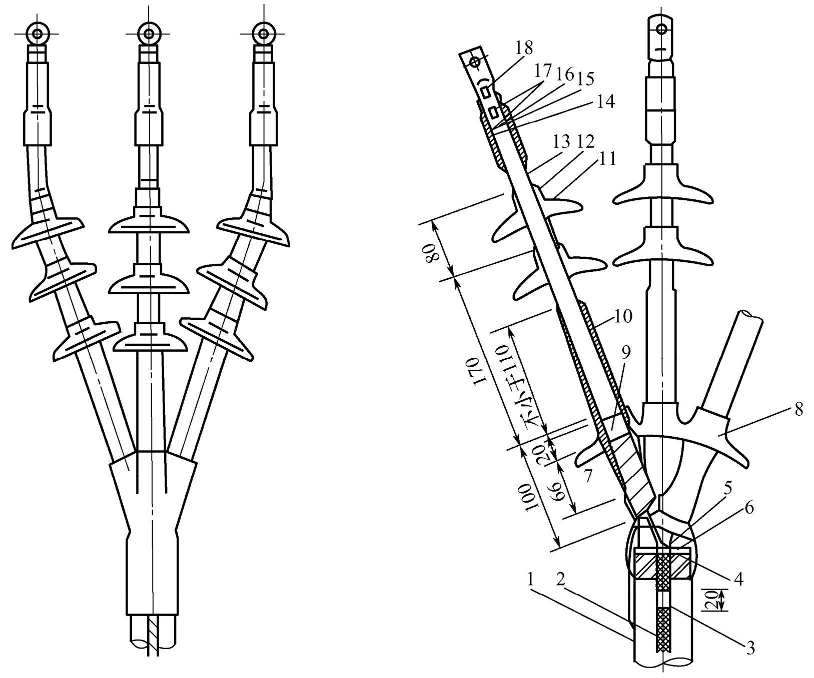
⑩ 固定相色管：将红、绿、黄相色标志管套在接线端子压接部位后加热收缩。自此，户内型电缆终端头制作安装完成，如图 2-105（a）所示。

提示：

① 如果是户外型，则要安装雨罩。10kV 三芯电缆先将三孔雨罩套在三相线芯上，离分支套分叉处约 100mm 处，加热收缩固定，再套单孔雨罩，加热收缩固定。

② 户外型雨罩数量为，10kV 三芯电缆户外终端头安装一只三孔雨罩，每相线芯上再加两只单孔雨罩，如图 2-105（b）所示。

③ 户内终端头不装雨罩。



（a）　　　　　　　　　　　　　　（b）

1—塑料外护套；2—接地线；3—防潮段；4—铜扎线、钢带铠装、填充胶、三指手套；5—内护套；6—焊点；

7—铜屏蔽层；8—三孔雨裙；9—半导电层；10—应力控制管；11—单孔伞裙；12—绝缘管；13—线芯绝缘；

14—导体；15—相色管；16—副管；17—填充胶；18—接线端子

图 2-105　10kV 电缆终端头制作

制作过程注意事项如下：

① 剥切电缆时不得伤及线芯及绝缘层。密封电缆时注意清洁，防止污物与潮气侵入绝缘层。

② 同一电缆线芯的两端，相色应一致，且与连接母线的相序相对应。

③ 尽管按照上述制作方法，可保证电缆终端头合格，但为万无一失，还应进行绝缘电阻和直流耐压试验。

④ 加热时一定要控制好火焰，不能过大，操作时要不停地晃动火源，不可对准一个位置长时间加热，以免烫伤热收缩部件。加热时喷出的火焰应该是充分燃烧的，不可带有烟，以免烟中颗粒物吸附在热收缩部件表面，影响其性能。

⑤ 在收缩管材时，一般要求从中间开始向两端或从一端向另一端沿圆周方向均匀加热，缓慢推进，以避免收缩后的管材沿圆周方向出现厚薄不均匀和层间夹有气泡的现象。

提示：电缆终端头从开始剥切到制作完成必须连续进行，一次完成，防止受潮。

（2）干包式电缆终端头

干包式电缆终端头不用任何绝缘浇注剂，而是用软“手套”和聚氯乙烯带干包成形。它的特点是体积小、重量轻、工艺简单、成本低廉，是室内低压油纸电缆终端头采用较多的一种。

其制作工艺如下：

① 准备工作。准备材料和工具，核对电缆规格、型号、检查电缆是否受潮，测量绝缘电阻、核对相序等。

② 确定电缆剥切尺寸。终端头的安装位置确定之后，即可决定电缆外护层和铅（铝）套的剥切尺寸，如图 2-106 及表 2-16 所示。

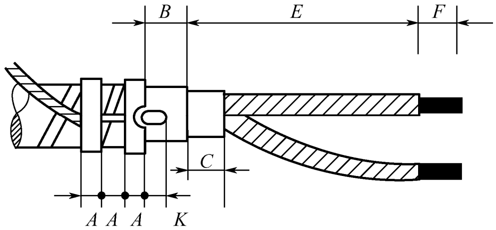


图 2-106　电缆外护层和铅（铝）套的剥切尺寸

表 2-16　电缆外护层和铅（铝）套的剥切尺寸

符　　号	表 示 意 义	尺寸（mm）
A	电缆卡子及卡子间尺寸	10～15
K	焊接地板尺寸	
B	预留铅（铝）套	铅（铝）套外径+60
C	预留统包绝缘	25、50
E	包扎绝缘长度	由安装位置决定
F	导线裸露长度	线鼻子孔深+5

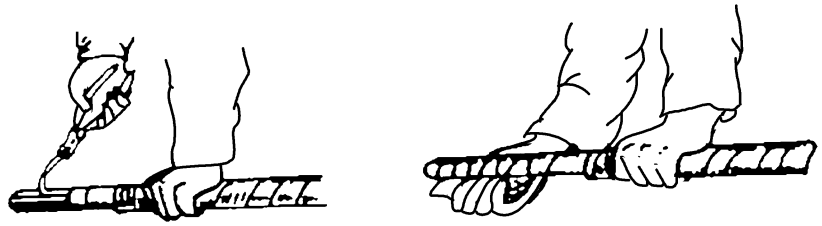
③ 剥切外护层。按照剥切尺寸，先在锯割钢带处做好记号，把由此向下 10mm 处的一段钢带用汽油将沥青混合物擦净，再用细锉打光，表面搪一层焊锡，放好接地用的多股裸铜绞线，并装上电缆钢带卡子。然后，在卡子的外边缘沿电缆圆周用钢锯在钢带上锯出一个环形深痕，深度为钢带厚度的 2/3。但应注意在锯割时不要伤及铅（铝）套。锯完后，用螺丝刀在锯痕尖角外把钢带撬起，用钳子夹住，逆着缠绕方向把钢带撕下。再用同样的方法剥掉第二层钢带。用锉刀锉掉切口毛刺，使其光滑。

④ 清擦铅（铝）套。先用喷灯稍加热电缆，使沥青软化，逐层撕去沥青纸。切忌用火烧沥青纸，以防铅（铝）套过热而损坏绝缘。最后，用汽油或煤油布将铅（铝）套擦拭干净。

⑤ 焊接地线。地线应采用多股裸铜线，其截面积应不小于 $10mm^2$，长度按实际需要而定。地线与钢带的焊接点选在两道卡子之间，焊接时应涂硬脂酸或焊锡膏去污，上下两层钢带均应与地线焊牢。先把地线分股排列贴在铅（铝）套上，再用直径 1.4mm 铜线绕 3 圈扎紧，割去余线，留下部分向下弯曲，并轻轻敲平，使地线紧贴扎线，再进行焊接。焊接时，先将钢带、铅（铝）套的被焊面及接地线用喷灯稍稍加热，涂上焊锡膏和硬脂酸，再将已配制好的焊料用喷灯加热变软，在被焊面上反复涂擦使其有一定堆集量，再用喷灯加热堆集的焊料使之变软，并用浸渍过牛脂或羊脂的布抹圆抹光，成为半边鸽蛋形。焊接速度要快，以免损伤电缆内部纸绝缘。

⑥ 剥切电缆铅（铝）套。按照剥切尺寸先确定喇叭口的位置，用电工刀沿铅（铝）套圆周切一环形深痕，再顺着电缆轴向在铅（铝）套上割切两道纵向深痕，其间距约为 10mm，深度为铅（铝）套厚度的 1/3，不能切深，以防损伤内部纸绝缘。随后，从电缆端头起，把两道纵向深痕间的铅（铝）皮用螺丝刀撬起，再用钳子夹住铅（铝）皮条往下撕，如图 2-107（a）所示。

当撕到下面环形深痕处时把铅（铝）皮条撕断，再把铅（铝）套剥掉，如图 2-107（b）所示。剥完电缆铅（铝）套，用专用工具把电缆铅（铝）套切口胀成喇叭形，胀口时用力要均匀，以防胀裂。喇叭口要圆滑、规整和对称，其直径约为铅（铝）套直径的 1.2 倍。注意：切忌将铅（铝）屑掉入喇叭口内。因铝套较硬，胀喇叭口略困难，略胀开一些即可。



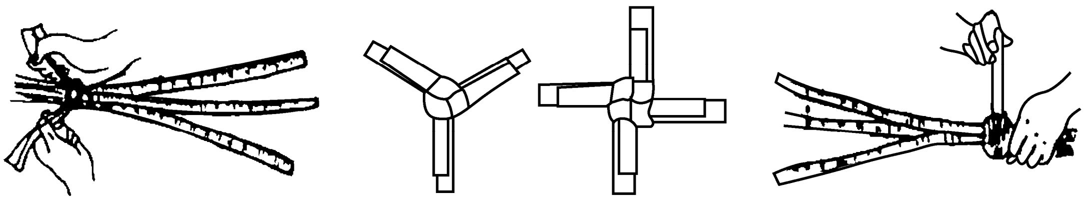
（a）撕下两道纵向割痕的铅（铝）皮　　（b）剥掉电缆铅（铝）套

图 2-107　剥切电缆铅（铝）套

⑦ 剥除统包绝缘和分线芯。将电缆铅（铝）套喇叭口向末端方向 25mm 部分的统包绝缘用聚氯乙烯带顺着绝缘包绕方向包缠做临时保护，包缠层数以能填平喇叭口为准；然后撕去保护带以上至电缆末端的统包绝缘纸（禁止用刀子切割），将电缆线芯逐相分开，割去线芯间的填充物，切割时刀口应向外，避免割伤线芯上的绝缘纸。

⑧ 包缠内包层。从线芯分叉口根部开始，用聚氯乙烯带在线芯上包缠 1～3 层，层数以使聚氯乙烯软管能较紧地套装为宜，不使线芯与聚氯乙烯软管之间产生空隙。包缠时，顺绝缘纸的包缠方向，以半遮盖方式向线芯端部包缠，包带要拉紧，使松紧程度一致，不应有打折、扭皱现象。一直包至线芯端部。

在线芯三岔口处填上环氧-聚酰胺腻子，并压入一个“风车”，使三岔口无空隙，做法如图 2-108（a）所示。“风车”用聚氯乙烯带制成，形状如图 2-108（b）所示。紧紧压入第一个“风车”后，接着用聚氯乙烯带包缠内包层，如图 2-108（c）所示。在内包层即将完成时再压入第二个“风车”，且应向下勒紧，使“风车”带均衡分开，摆放平整。继续将内包层完成。内包层成橄榄形，最大直径位于喇叭口处，其值为铅（铝）套外径加 8～12mm，高度为铅（铝）套外径加 50mm。



（a）电缆三叉口压入风车　　（b）风车形状（三芯、四芯用）　　（c）包缠内包层

图 2-108　电缆压入风车并包缠内包层

⑨ 套聚氯乙烯软手套。内包层包缠完后，选择与线芯截面相适应的软手套，用电缆油或变压器油润滑后套入线芯，并用手轻轻向下勒，使其与内包层紧紧相贴，但用力不可太猛，以防弄破，应特别注意三岔口处必须贴紧，使“风车”不能松动。套入软手套后，用聚氯乙烯带临时包扎软手套根部，然后用聚氯乙烯带和塑料胶粘带包缠手套的指部，从手指根部开始至高出手指口约 20～30mm 处。手指根部包缠 4 层，手指端部包缠 2 层，塑料胶粘带包在最外层，包缠成一个锥形体。

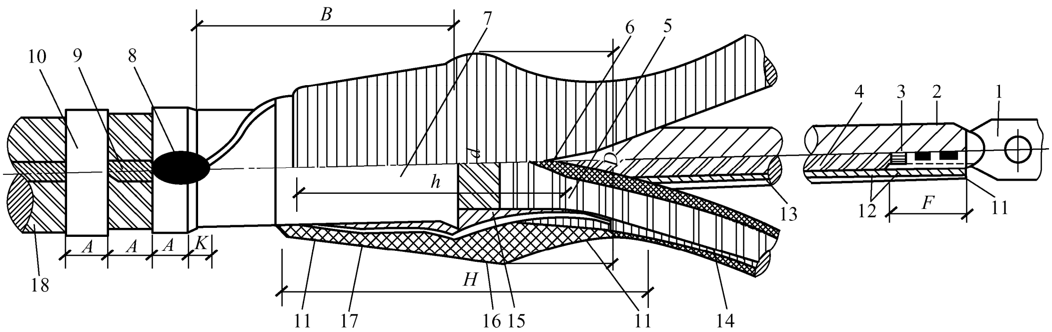
⑩ 套聚氯乙烯软管、绑扎尼龙绳。软手套手指包缠好后，即可在线芯上套入软管。软管长度为线芯长度加 80～100mm。将其套入端剪成 45° 的斜口，用 80℃左右的电缆油注入管内预热后迅速套至手指根部，软管上端留出一定长度，以保证能盖住接线端子的两个压坑，并向外翻。然后在软手套手指与软管重叠部分用直径为 1～1.5mm 的尼龙绳紧紧绑扎，绑扎

长度不小于 30mm，其中越过搭接处两端各为 5mm。绑扎时，尼龙绳要用力拉紧，不能使软管转动。每匝尼龙绳间要紧密相靠，不能叠压。手指与软管搭接部分绑扎好后，接着绑扎手套根部。先拆除手套根部的临时包扎，用手从上到下紧压手套，排除手套内的空气，再在手套根部包缠一层聚氯乙烯带，在其上绑扎尼龙绳，绑扎长度为 20～30mm，且保证尼龙绳有 10mm 压在手套与铅（铝）套接触的部位上，其余部分压在内包层的斜面上。

⑪ 安装接线端子。剥切线芯端部绝缘层，剥切长度为接线端子的孔深加 5mm。接线端子的连接方式，一般铝芯电缆采用压接，铜芯电缆采用压接或焊接。切割线芯绝缘层时不应伤及线芯，绝缘层最里 3 层应用手撕。将选择好的端子的接管内壁和线芯表面擦拭干净，除去氧化层和油渍，将线芯插入端子接管内进行压接。

接线端子装好后，用聚氯乙烯带将裸线芯部分勒绕填实，然后翻上聚氯乙烯软管，盖住接线端子的两个压坑。再用尼龙绳紧扎软管与端子的重叠部分。

⑫ 包绕外包层。自线芯三岔口处起，在聚氯乙烯软管外面用黄蜡带或玻璃漆带以半叠包方式包绕两层加固。在线芯三岔口处的软手套外压入 2～3 个“风车”，且应勒紧、填实三岔口的空隙。然后用聚氯乙烯带和黄蜡带（或玻璃漆带）包绕成橄榄形。外包层最大直径为铅（铝）套外径加 25mm，高度为铅（铝）套外径加 90mm，如图 2-109 所示。终端头成型后，按已定相位，用与相线纸绝缘同样颜色的聚氯乙烯带包缠各相线芯，以区别相序。外面再包缠 1～2 层透明聚氯乙烯带。



1—接线端子；2—压坑内填以环氧-聚酰胺腻子；3—导线线芯；4—塑料管；5—线芯绝缘；6—环氧-聚酰胺腻子；7—电缆铅套；8—接地线焊点；9—接地线；10—电缆钢带卡子；11—尼龙绳绑扎；12—聚氯乙烯带；13—黄蜡带加固层；14—相色塑料胶粘带；15—聚氯乙烯带内包层；16—聚氯乙烯带和黄蜡带外包层；17—聚氯乙烯带软手套；18—电缆钢带

图 2-109　干包式电缆终端头

⑬ 电缆安装。对电缆头进行直流耐压试验和泄漏电流测定，合格后将其安装于指定位置，弯好线芯，核对相位后与设备相连接。

提示：电缆的连接与导线的连接有很多不同，特别是从剥切电缆开始应连续操作，直至完成，缩短绝缘暴露时间。

（3）控制电缆的连接

控制电缆终端头和中间接头的做法与电力电缆基本相同，但因其承受电压低、电流小，所以制作工艺要比电力电缆简单得多。尽量避免控制电缆出现中间接头，只有在下列情况时才可有接头：

① 当敷设长度超过其制造长度时。

② 必须延长已敷设竣工的控制电缆时。

③ 当消除使用中的电缆故障时。

控制电缆的线芯通常是铜的，其接头方法是：线芯截面积为 2.5mm^2 及以下，一般用绞接并搪锡的方法；线芯截面积为 4mm^2 及以上时，可用连接管压接或锡焊。连接时，各线芯连接点的排列应尽量错开，用绝缘带包扎绝缘，注意防潮。

提示：控制电缆终端头可采用聚氯乙烯绝缘带包缠或聚氯乙烯套封端，应保证绝缘、密封、防潮。

8. 导线的封端

导线连接或绝缘恢复完成后，要进行导线的封端。安装好的配线最终要与电气设备相连，为了保证导线线头与电气设备接触良好并具有较强的机械性能，对于多股铝线和截面积大于 2.5mm^2 的多股铜线，都必须在导线终端焊接或压接一个接线端子（俗称线鼻子）再与设备相连。这种工艺过程称为导线的封端。

封端的方法一般有：对于截面积为 10mm^2 及以下的单股铜芯导线，可直接弯成圆圈。圆圈的大小应与接线螺栓相适应；弯圈的方向应与螺栓拧入的方向一致。对于截面积为 4mm^2 及以下的多股铜芯软线，应先搪锡，再行弯圈；也可先绞紧后弯圈再行搪锡。对于截面积为 10mm^2 以上的多股铜芯导线，必须使端头加装接线端子，而导线端头与接线端子可采用锡焊钎焊或压接。

提示：导线连接的完整过程包括导线的剖削、导线的连接、导线绝缘层的恢复和导线的封端。

2.3.4　布线

本节主要介绍两类布线：一类为室内线路布线；另一类为电气控制线路布线。

1. 室内线路布线

室内布线方式通常有暗敷线路和明敷线路两种，暗敷线路是指线路装置埋设在建筑物内或埋设在地下。明敷线路是指线路装置设在建筑面上。在一般用电环境中，明敷线路用得较为普遍，通常有瓷夹板布线、护套线布线、明管布线、槽板布线、桥架布线、钢索布线等几种。

1）瓷夹板布线

瓷夹板布线的结构简单，布线费用少，安装和维修方便；但由于瓷夹板较薄，导线距建筑物较近，机械强度也低，容易损坏。因此，在室内线路安装中，已逐渐被护套线所取代，但在环境干燥，用电量较小的场合仍被采用。

（1）瓷夹板布线的步骤

① 定位。

② 划线。

③ 凿眼。

④ 安装木榫或塑料胀管。

⑤ 埋设穿墙瓷管或过楼板钢管，最好在土建砌墙时预埋，过梁或其他混凝土结构预埋瓷管，应在土建铺模板时进行。

⑥ 固定瓷夹。

⑦ 敷设导线。

瓷夹板布线的操作方法如图 2-110 和图 2-111 所示。注意：相邻夹板间的距离不要太大，排列要对称均匀。

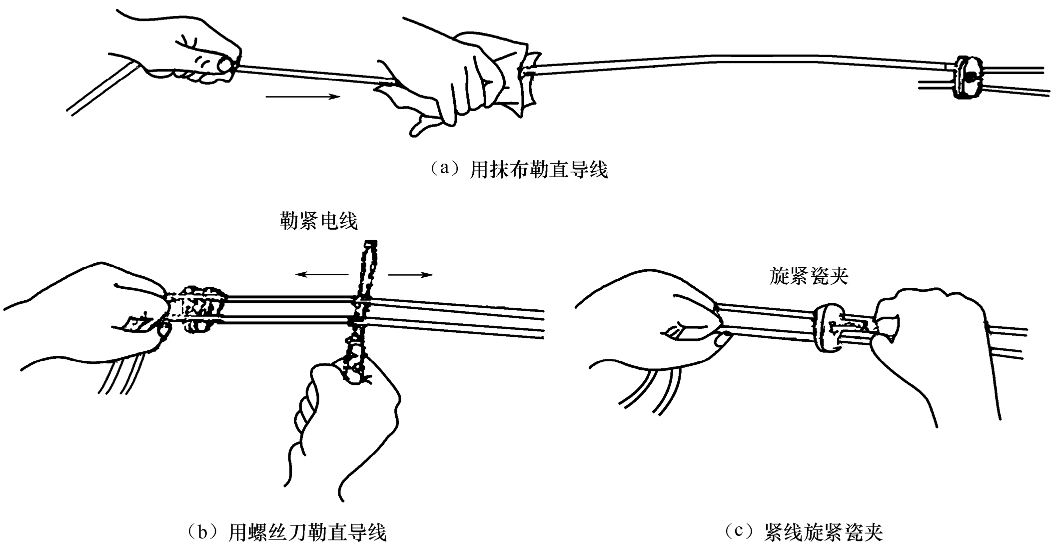


图 2-110　瓷夹板布线的操作

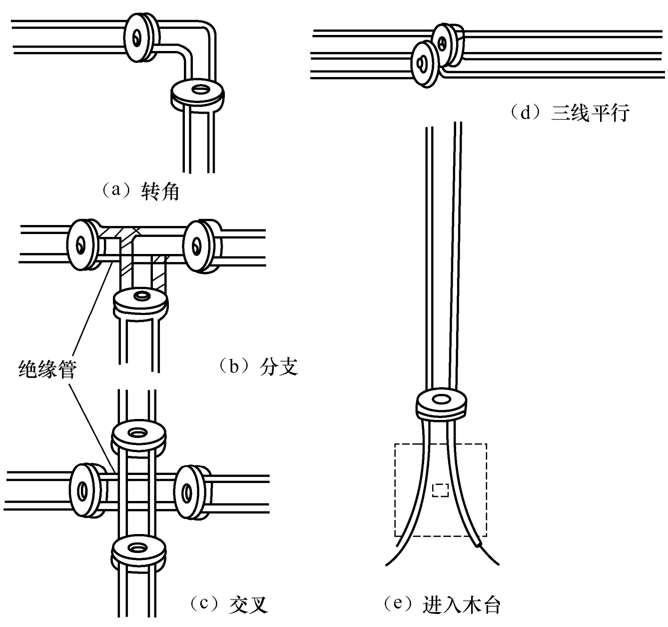


图 2-111　瓷夹板在线路各处的装设

提示：当导线截面积为 1～2.5mm^2 时，夹板固定点间最大允许距离为 0.6m；当导线截面积为 4～10mm^2 时，夹板固定点间最大允许距离为 0.8m。

（2）绝缘子布线

绝缘子布线的结构简单，布线费用少，安装和维修方便；导线距建筑物较远，机械强度大，绝缘强度高，适用于用电量较大且又比较潮湿的场所。

绝缘子布线的步骤主要有以下几步：

① 定位。
② 划线。
③ 打孔。
④ 埋设紧固件。
⑤ 埋设穿墙瓷管或过楼板钢管。
⑥ 安装固定绝缘子。
⑦ 敷设导线。

导线在绝缘子上通常采用绑扎法来固定。绑扎法又分顶绑法、侧绑法（又称颈部绑法）和终端绑扎法三种。这几种导线绑扎方法如图 2-112、图 2-113、图 2-114 和图 2-115 所示。

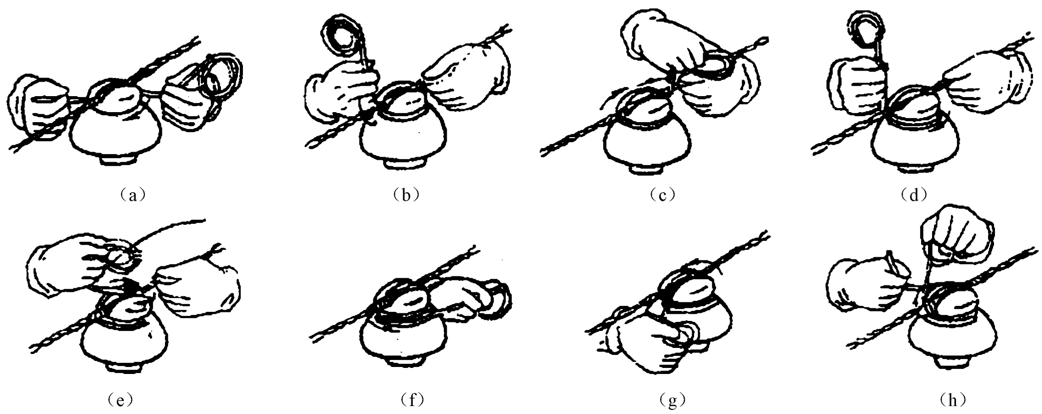


图 2-112　针式绝缘子的顶绑法

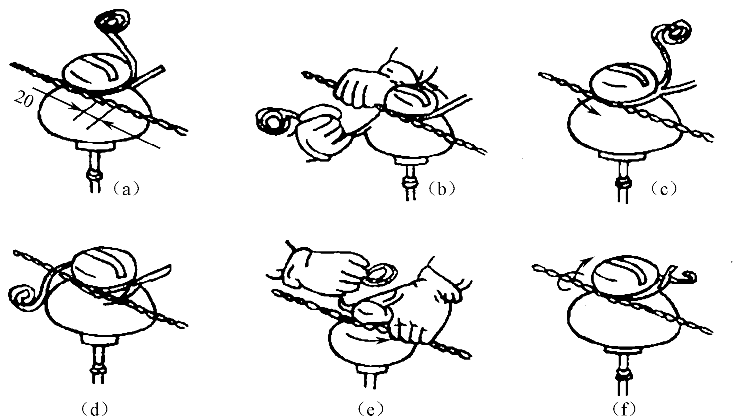


图 2-113　针式绝缘子的颈部绑法

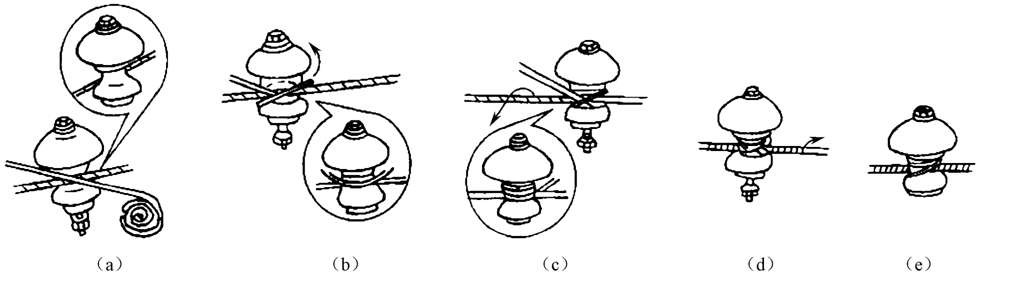


图 2-114　蝶形绝缘子直线支持点绑扎方法

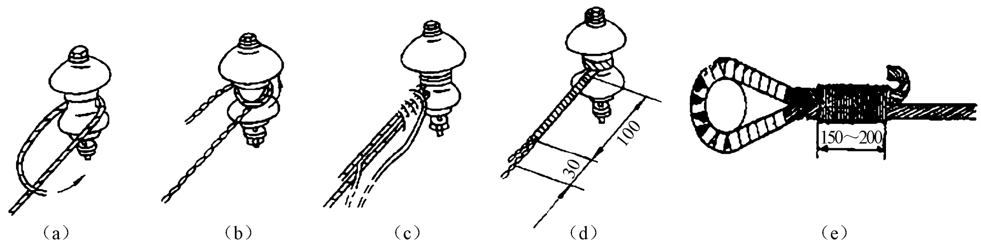
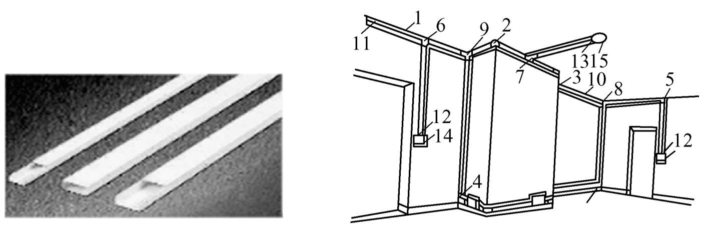


图 2-115　蝶形绝缘子始、终端支持点绑扎方法

2）槽板布线

塑料槽板布线一般适用于正常环境室内场所的布线，也适用于预制墙板结构及无法暗布线的工程。

塑料槽板由槽底、槽盖及附件组成，由难燃型硬质聚氯乙烯工程塑料挤压成型，产品具有多种规格，外形美观，如图 2-116（a）所示，可起装饰作用，布线示意图如图 2-116（b）所示。



（a）PVC塑料线槽　（b）塑料线槽的布线示意图

1—直线线槽；2—阳角；3—阴角；4—直转角；5—平转角；6—平三通；7—顶三通；8—左三通；9—右三通；10—连接头；11—终端头；12—开关盒插口；13—灯位盒插口；14—开关盒及盖板；15—灯位盒及盖板

图 2-116　塑料线槽的布线

塑料槽板敷设时，宜沿建筑物顶棚与墙壁交角处的墙上及墙角和踢脚板上口线上敷设。

槽板布线时的注意事项如下：

① 槽底固定点间距应根据槽板规格而定，一般槽板宽度为 20～40mm 时，固定点最大间距为 0.8m；槽板宽度为 60mm 时，固定点最大间距为 1.0m；槽板宽度为 80～120mm 时，固定点最大间距为 0.8m。

② 端部固定点距槽底端点不应小于 50mm。

③ 底板和盖板的接口应紧密接合，不留空隙并使槽底的连接处和盖板的连接处错开，至少应相距 30mm。底板和盖板接头需做成斜口。底板分支接头应做成丁字三角叉接。转弯处应保持直角，做法如图 2-117 所示。

④ 槽板不许埋入或穿过墙壁和楼板，穿过墙壁或楼板时，应将槽板中断，穿墙导线由瓷套管保护。穿过楼板时，用铁管或硬塑料管保护。

⑤ 槽板盖与各种附件对接时，接缝处应严密平整、无缝隙，无扭曲和翘角变形现象。

提示：槽板一端或中间不要直接安装电器，必须使用木台或类似木台的东西。

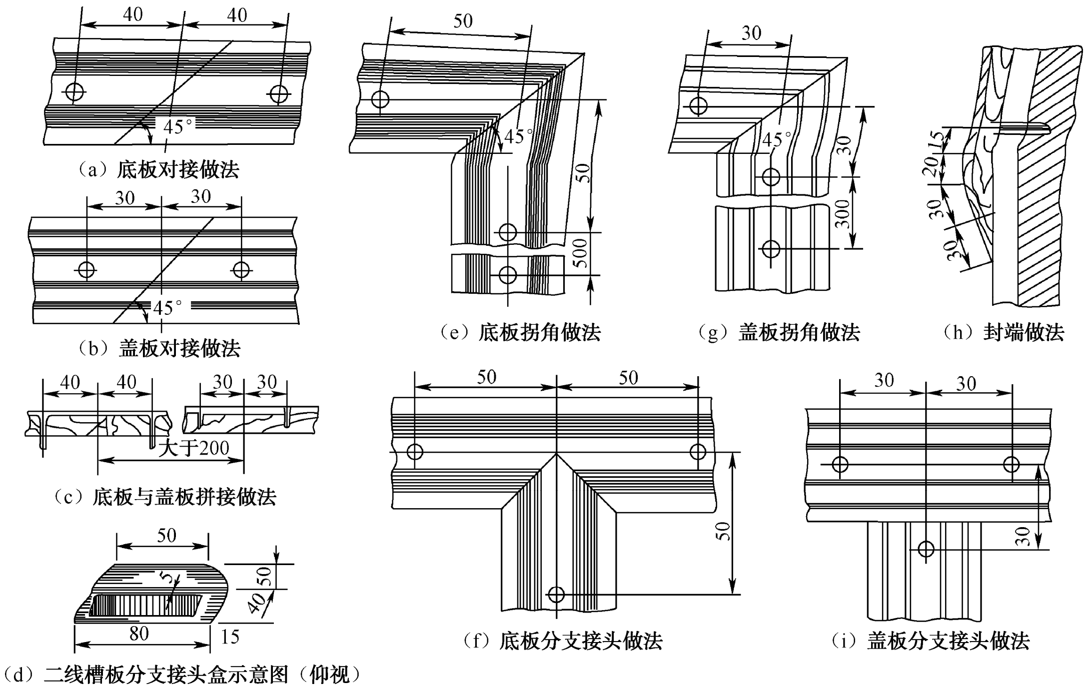


图 2-117　槽板布线的做法

提示：塑料槽板的槽底与盖板为卡槽固定，不应在盖板上钉钉子。

3）塑料护套线布线

塑料护套线具有双层塑料层，即线芯和绝缘层为内层，外面再统包一层绝缘塑料护套，如图 2-118 所示，具有防潮、耐酸和耐腐蚀、安装方便等优点，常用的有 BVV 型、BLVV 型、BVVB 型和 BLVVB 型。塑料护套线布线主要用于住宅及办公室等建筑室内电气照明等明敷线路，用铝片线卡（钢筋扎头）或钢钉塑料线卡（现常用）将导线直接固定于墙壁、顶棚或建筑物构件的表面。

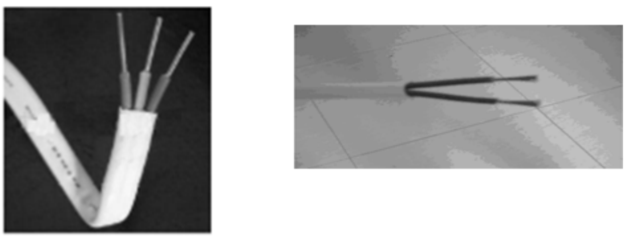


图 2-118　塑料护套线

（1）塑料护套线的布线步骤

① 钢钉塑料线卡布线步骤如下：

a．划线定位。先确定线路方向，每隔 150～200mm 划出固定线卡的位置。

b．敷设导线。为使护套线敷设平直，可在直线部分敷线时，先把护套线一端固定，然后勒直并在另一端收紧护套线后也固定，其余固定点可直接将钢钉塑料线卡钉在灰浆中、砖墙或混凝土墙上卡住护套线。

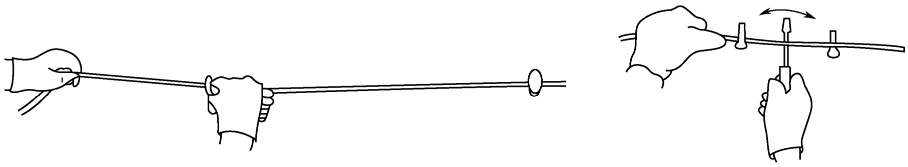
② 铝片线卡布线步骤如下：

a．划线定位。

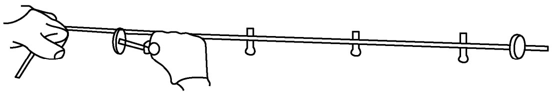
b．凿眼并安装木榫。

c．固定铝片线卡。

d．敷设导线。为使护套线敷设平直，可在直线部分敷线时，先把护套线一端固定，然后勒直并在另一端收紧护套线后也固定，最后把护套线依次夹入铝片线卡中，如图 2-119 所示。



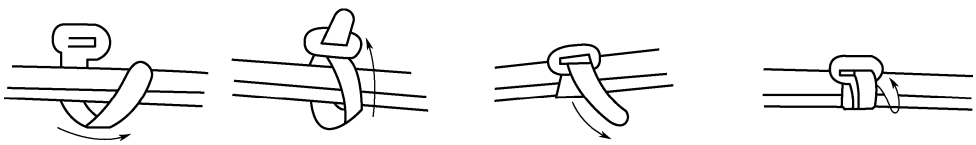
（a）勒直护套线　（b）勒平护套线



（c）护套线夹入铝片线卡

图 2-119　勒直、勒平护套线

e．铝片线卡的夹持，如图 2-120 所示。



（a）　（b）　（c）　（d）

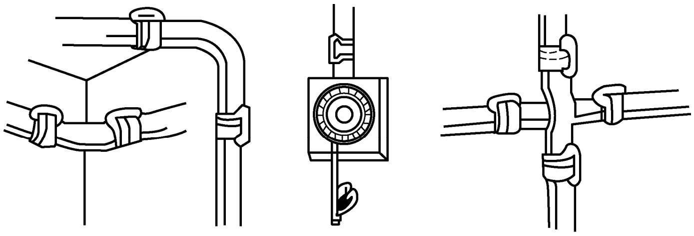
图 2-120　铝片线卡夹持护套线操作过程

（2）塑料护套线布线的注意事项

① 室内使用塑料护套线布线时，其截面积要求：铜芯不得小于 0.5mm^2，铝芯不得小于 2.5mm^2。室外使用塑料护套线布线时，其截面积规定：铜芯不得小于 1.0mm^2，铝芯不得小于 2.5mm^2。

② 护套线不可在线路上直接连接，可通过瓷接头、接线盒或用其他电器的接线桩来连接。

③ 护套线转弯时，导线弯曲半径应不小于塑料护套线宽度的 3 倍，在不同平面上转弯时，弯曲半径应不小于塑料护套线厚度的 3 倍，转弯前后距转弯中心 50～100mm 应各用一个线卡固定，如图 2-121（a）所示。



（a）转角部分　（b）进入木台　（c）十字交叉

图 2-121　铝片线卡的安装

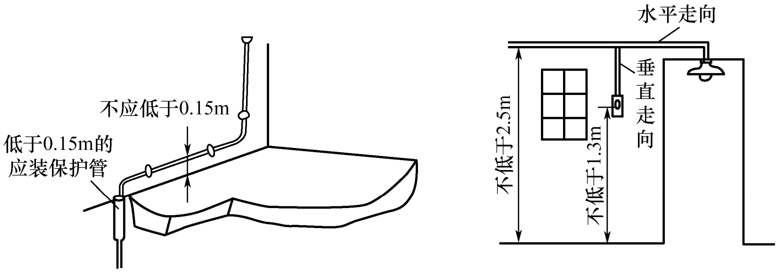
④ 护套线进入木台前距木台边缘 50～100mm 处应安装一个线卡，如图 2-121（b）所示。

⑤ 两根护套线相互交叉时，交叉处要用 4 个线卡固定，如图 2-121（c）所示。

提示： 护套线应尽量避免交叉。

⑥ 户内敷设护套线时，护套线离地高度不应低于 0.15m，低于 0.15m 的应装保护管，如图 2-122（a）所示。

提示： 户外敷设护套线，水平敷设时，护套线离地高度不应低于 2.5m；垂直敷设时，其离地高度不应低于 1.3m，如图 2-122（b）所示。



（a）　　（b）

图 2-122　护套线离地高度

4）线管布线

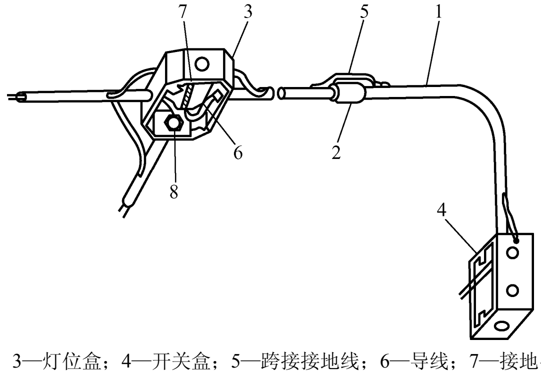
把绝缘导线穿入管内敷设，称为线管布线。线管布线方法安全，可避免腐蚀性气体的侵蚀和机械损伤，更换导线也方便，目前广泛采用线管布线方式。线管布线工程的内容分为两大部分，即配管（管子敷设）和穿线。

（1）线管布线的要求

线管布线有明布线和暗布线两种。适用于电压为 1kV 以下的线路，管内采用的绝缘导线其绝缘电压不得低于 500V。

线管明布线：把线管敷设于墙壁、桁架及其他明处，要求横平竖直，而且要求管路短、弯头少。

线管暗布线：把线管埋设在墙内、楼板内其他看不见的地方，不要求横平竖直，只要求管路短、弯头少。线管暗布线时，首先要确定好线管进入设备器具盒（箱）的位置，计算好管路敷设长度，再进行配管施工。在配合土建施工中将管与盒（箱）按已确定的安装位置连接起来，并在管与管、盒（箱）的连接处，焊上接地跨接线，使金属外壳连成一体。线管暗布线的示意图如图 2-123 所示。线管布线的具体要求如下：



1—线管；2—管箍；3—灯位盒；4—开关盒；5—跨接接地线；6—导线；7—接地导线；8—锁紧螺母

图 2-123　线管暗布线的示意图

① 不同电压及不同回路的线管一般不应穿于同一管内，但下列情况可以除外：

- 一台电动机的所有回路（包括操作回路）。
- 同一设备或同一流水作业设备的电力线路和无防干扰要求的控制回路。
- 无防干扰要求的各种用电设备的信号回路、测量回路和控制回路。
- 照明灯的供电回路。
- 电压相同的同类照明专路，可共管敷设，但不宜超过 10 根。工作照明与事故照明线路不得共管敷设。
- 电压为 65V 以下的回路。

提示：同一回路的各相导线及工作零线应穿于同一管内。

② 互为备用的线路不得共管。控制线与动力线共管时，当线路较长或弯头较多时，控制线截面积应不小于动力线截面积的 10%。

③ 金属管布线和硬塑料管布线的管路较长或有弯时，应适当加装接线盒。两个接线点之间的距离应符合以下要求：

- 对无弯的管路，不超过 30m。
- 两个接线点之间有一个弯时，不超过 20m。
- 两个接线点之间有两个弯时，不超过 15m。
- 两个接线点之间有三个弯时，不超过 8m。

④ 钢管的连接应符合下列要求：

- 丝扣连接。管端套螺纹长度不应小于管接头的 1/2；在管接头两端应焊接地线。
- 套管连接宜用于暗配管，套管长度为连接管外径的 1.5～3 倍；连接管的对口处应在套管的中心，坡口应焊接牢固、严密。
- 薄壁钢管的连接必须用丝扣连接。

⑤ 硬塑料管的连接处应用胶合剂粘接，接口必须牢固、密封并应符合下列要求：

- 采用插入法连接时插入深度为管内径的 1.2～1.5 倍。
- 采用套接法连接时套管长度为连接管内径的 2.5～3 倍。连接管的对口处应在套管的中心。

⑥ 线管与设备连接时，应将钢管敷设到设备内；如不能直接进入时，应符合下列要求：

- 在干燥房间内时，可在钢管出口处加保护软管引入设备，管口应包扎严密。
- 在室外或潮湿房间内，可在管口处装设防水弯头，由防水弯头引出的导线应套绝缘保护软管，弯成防水弧度后再引入设备。
- 管口距地面高度一般不宜低于 200mm。

⑦ 线管转弯时，应采用弯曲线管的方法，不宜采用制成品弯，以免造成管口连接处过多。

提示：在混凝土内敷设的线管必须使用壁厚为 3mm 的线管，当线管的外径超过混凝土厚度的 1/3 时，不准将线管埋在混凝土内，以免影响混凝土的强度。

（2）线管的选择

① 根据敷设场所选择线管：

- 潮湿和有腐蚀气体的场所内明敷或埋地一般采用管壁较厚的焊接钢管（又称为水煤气钢管）。
- 干燥场所内明敷或暗敷一般采用壁管较薄的电线管。
- 腐蚀性较强的场所内明敷或暗敷一般采用硬塑料管。
- 防爆场所内明敷或暗敷应根据防爆规程选材。

② 线管选择注意事项如下：

- 所选钢管不能有折扁、裂纹、砂眼，管内应无毛刺、铁屑，不应有严重的锈蚀。
- 硬塑料管选用热塑料管，优点是在常温下坚硬，有较大的机械强度，受热软化后，又便于加工。对管壁厚度的要求是：明敷时不得小于 2mm；暗敷时不得小于 3mm。

提示：室内布线时，一般穿管导线的总截面积（包括绝缘层）不应超过线管内径截面积的 40%。

（3）下料与锯管

① 下料：下料前应检查线管质量，有裂缝、塌陷及管内有锋口杂物时均不能使用。应按两个接线盒之间为一个线段，根据线路弯曲转角情况决定用几根线管接成一个线段和确定弯曲部位，然后按需要长度锯管。一个线段内应尽可能减少管口的连接接口。

② 锯管：线管切割可使用钢锯、管子割刀或电动切割机，严禁使用气割。

钢管：一般都用钢锯切割。下锯时，锯要扶正，向前推动时适度施加压力，但不得用力过猛，以防止折断锯条。钢锯回拉时，应稍微抬起，减少锯条磨损。在割据时防止钢锯发热须在锯口上注油。管子将要锯断时，要放慢速度，使断口平整。锯断后用半圆锉锉掉管口内侧的棱角，以免穿线时割伤导线。

硬塑料管：一般采用管子割刀，因为用管子割刀割断的管子切口比较整齐，割断的速度也比较快。

（4）弯管

① 弯管器的种类如下：

- 管弯管器。管弯管器体积小、质量轻，是弯管器中使用最简便的一件工具，其外形和使用方法如图 2-124 所示。管弯管器适用于直径 50mm 以下的线管。在使用管弯管器弯曲钢管时，脚要用力踩着钢管，然后逐渐移动弯管器棒，直至把管子弯成所需的弧度和角度，但一次弯曲的弧度不可过大，否则可能会弯裂或弯瘪线管。
- 手动液压弯管器。手动液压弯管器使用方便，可用于较大直径线管的弯曲，其外形如图 2-125 所示。手动液压弯管器不如管弯管器简便，搬运也不方便。



图 2-124　弯管器弯管



图 2-125　手动液压弯管器

- 滑轮弯管器。直径在 50～100mm 的线管可用滑轮弯管器进行弯管，其结构示意图如图 2-126 所示。
- 电动弯管机。对于直径大于 100mm 的管子，可采用电动或液压的弯管机进行弯管。电动弯管机如图 2-127 所示。

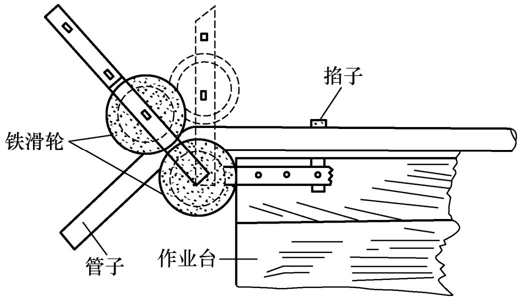


图 2-126　滑轮弯管器

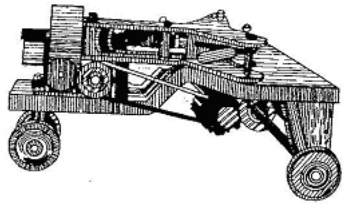


图 2-127　电动弯管机

② 弯管的方法如下：

- 为便于线管穿线，管子的弯曲角度，一般应大于 90°，如图 2-128 所示。明管敷设时，管子的曲率半径 $R \geq 4d$；暗管敷设时，管子的曲率半径 $R \geq 6d$，夹角 $\theta \geq 90°$。
- 凡管壁较薄且直径较大的线管，弯曲时，管内要灌满砂子，否则会把线管弯瘪；若要加热弯曲，管内要灌满干燥无水分的砂子，并在管两端塞上木塞，如图 2-129 所示。

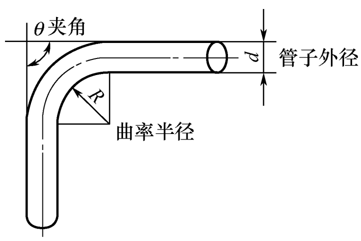


图 2-128　线管的弯度

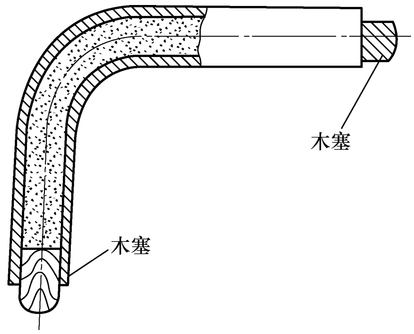


图 2-129　线管灌砂弯曲

- 弯曲有缝钢管时，可采用热弯法，并应将接缝处放在弯曲的侧边，作为中间层，切忌将焊缝放在弯曲处的内侧或外侧，如图 2-130 所示。
- 硬塑料管通常也用加热弯曲。先将塑料管用电炉或喷灯加热，然后放到大胚具上弯曲成型。加热时要掌握好火候，既要使管子软化又不得烤伤、烤变色或使管壁出现凹凸状，如图 2-131 所示。

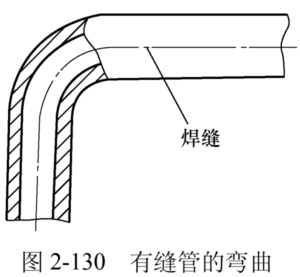


图 2-130　有缝管的弯曲

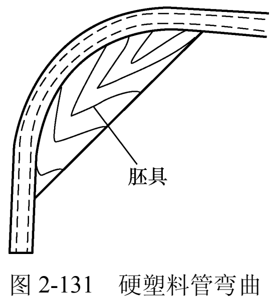


图 2-131　硬塑料管弯曲

（5）套丝

为了使管子之间或管子与接线盒之间连接起来，需要在管子端部进行套丝，钢管套丝时，可用管子套丝纹板。套丝时，应把线管钳夹在管钳或虎钳上，然后用套丝纹板纹出螺纹。操作时，用力要均匀，并加润滑油，以保护丝扣光滑，螺纹长度等于管箍长度的 1/2 时加 1～2

牙。第一套完成后，松开板牙，再调整其距离（比第一次小一点），再套一次，当第二次丝扣快要套完时，稍微松开板牙，边转边松，使其成为锥形丝扣，套丝完成后，应用管箍试套。

提示：选用板牙时必须注意管径是以内径还是外径标称的，否则无法使用。

（6）线管连接

① 钢管与钢管连接。钢管与钢管之间的连接，无论是明配管还是暗配管，最好采用管箍连接，尤其是埋地和防爆线管。管箍连接如图 2-132 所示。为了保证管接口的严密性，管子的丝扣部分应顺螺纹方向缠上麻丝，并在麻丝上涂层白漆，再用管子钳拧紧，并使两端吻合。

② 钢管与接线盒的连接。钢管端部与各种接线盒连接时，应采用在接线盒内拧入一个薄形螺母（又称锁紧螺母）夹紧线管的方法，如图 2-133 所示。安装时，先在线管管口拧入一螺母，管口穿入接线盒后，在盒内再套拧一个螺母，然后用两把扳手，把两个螺母反向拧紧。

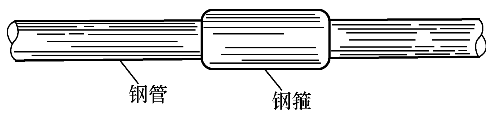


图 2-132　管箍连接钢管

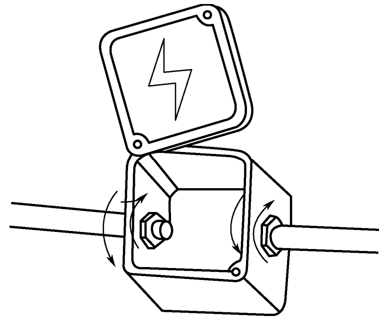


图 2-133　线管与接线盒的连接

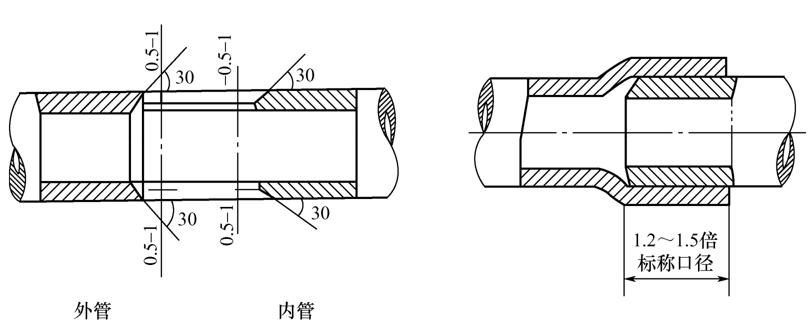
提示：接线盒如需密封，则在两螺母之间各垫入密封垫圈。

暗配的钢管与盒箱连接也可用焊接连接，管口宜超出盒箱内壁 3～5mm，且焊好后应补涂防腐漆。

当钢管与设备直接连接时，应将钢管敷设到设备的接线盒内。

③ 硬塑料管连接。

直接插入连接法：适用于ϕ50mm 以下的硬塑料管连接。连接前先将两根管子的管口倒角，即将连接处的外管倒内角，内管倒外角，如图 2-134（a）所示。然后将内、外管各自插接部位的接触面用汽油、苯或二氯乙烯等溶剂洗净，待溶剂挥发完后，将外管插接段（长度为 1.2～1.5 倍的管子直径）放在电炉或喷灯上加热至 145℃左右，呈柔软状态后，将内管插入部分涂一层胶合剂（过氯乙烯胶），迅速插入外管，并调到两管轴心一致时迅速用湿布冷却，使管子恢复到原来的硬度，如图 2-134（b）所示。

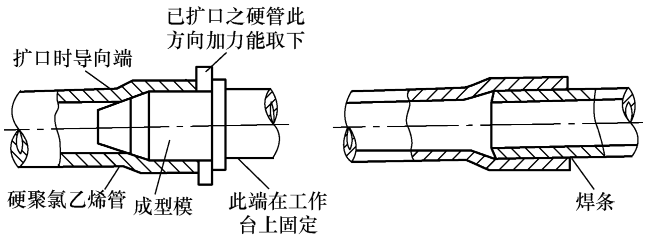


（a）管口倒角　　（b）插入法连接

图 2-134　硬塑料管的插入法连接

模具胀管连接法：适用于ϕ60mm 及以上的硬塑料管连接。先按照直接插入连接法的要求将外管加热至 145℃左右呈柔软状态，插入已加热的金属成型模具进行扩口；然后用水冷却至 50℃左右，取出模具，在外管和内管两端的接触面涂上过氯乙烯胶；再次加热，待塑料管软化后进行插接，到位后用水冷却，使外管收缩并箍紧内管，此时完成连接，如图 2-135（a）所示。

硬塑料管在完成上述插接工序后，如果条件具备，应用相应的塑料焊条在接口处圆周上焊接一圈，使接头成为一个整体，则机械强度和防潮性能会更好。焊接完工的塑料管接头如图 2-135（b）所示。



（a）胀管插接　（b）接口焊接

图 2-135　硬塑料管的模具插接

套管连接法：两根硬塑料管的连接，可在接头部分加套管完成。套管长度为它自身内径的 2.5～3 倍，其中管径在 50mm 以下者取较大值，在 50mm 以上者取最小值。连接前先将同径的硬塑料管加热扩大成套管，然后把需要连接的两管端倒外角，并用汽油或酒精擦干净，待汽油或酒精挥发后，涂上黏结剂，迅速插入套管中。插接前，仍需先将管口在大管中部对齐，并处于同一轴线上，如图 2-136 所示。

（7）线管接地

为了安全用电，线管布线的金属线管必须可靠接地。因螺纹连接会降低导电性能，不能保证可靠接地，因此，在线管与线管、线管与配电箱及接线盒等连接处，用ϕ6～10mm 圆钢制跨接线连接，如图 2-137 所示。

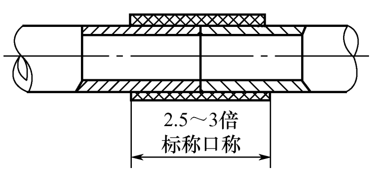


图 2-136 硬塑料管的套接法连接

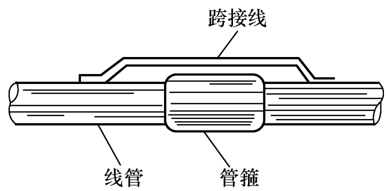


图 2-137　线管连接处的跨接线

提示：

① 黑色钢管螺纹连接时，连接处的两端应焊接跨接地线或采用专用接地线卡跨接。

② 镀锌钢管或可挠金属电线保护管的跨接地线宜采用接地线卡跨接，不应采用熔焊连接。

（8）线管敷设

① 线管明敷。

a．线管明敷的顺序和工艺。

一般顺序：按施工图确定电气设备安装位置→划出管道走向中心交叉位置→埋设支撑钢管的紧固件→按线路敷设要求对钢管进行下料、清洁、弯曲、套丝等加工→在紧固件上固定并连接钢管→将钢管、接线盒、灯具或其他设备连成一个整体→管中系统妥善接地。

基本工艺：线管明敷要求整齐美观、安全可靠。沿建筑物敷设要横平竖直，固定点直线距离应均匀，其固定点的最大允许距离应符合表 2-17 的规定。

表 2-17　线管直线部分固定点之间的距离

线管内径/mm 管卡间最大距离/m 管壁厚度/mm	13～19	25～32	38～51	64～76
>2.5	1.5	2.0	2.5	3.5
≤2.5	1.0	1.5	2.0	1.0

管卡距始端、终端、转角中心、接线盒或电气设备边缘 150～500mm，如图 2-138 所示。管卡均应安装在木结构、木榫或塑料胀管上。

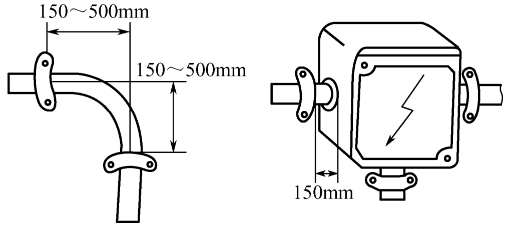
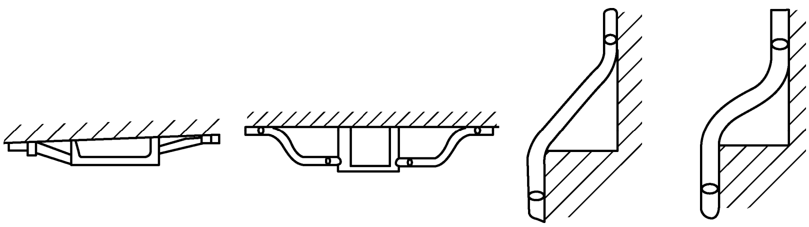


图 2-138　管卡固定

b．线管明敷的形式。随着建筑物结构和形状的不同，钢管常用以下形式敷设：

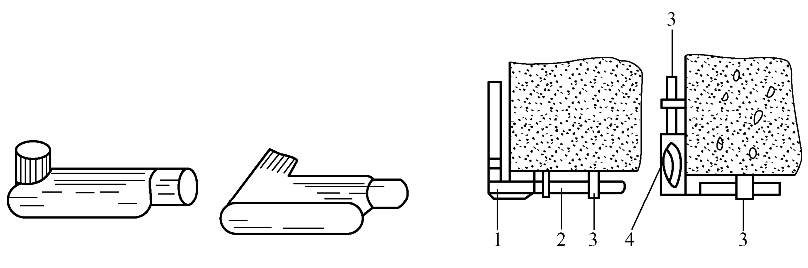
- 明管进接线盒或沿墙转弯时，应在转弯处弯曲成“鸭脖子”，形状如图 2-139 所示。



（a）不正确　（b）正确　（c）不正确　（d）正确

图 2-139　明管进接线盒及转弯处的弯曲

- 明管沿建筑物凸面棱角拐弯时，可在拐弯处加装拐角盒，以便于穿线和接线，明管拐角做法如图 2-140 所示。

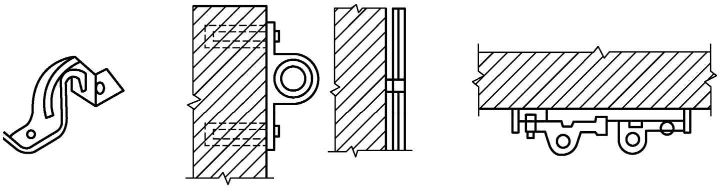


（a）拐角盒外形　（b）拐角做法

1、4—拐角盒；2—钢管；3—管卡

图 2-140　明管拐角做法

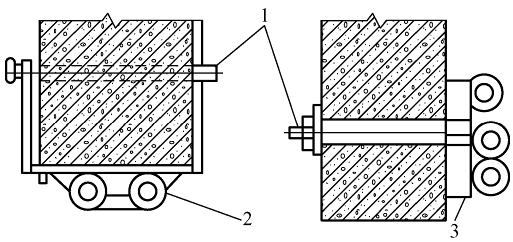
- 明管沿墙壁敷设时，可用管卡直接将线管固定在墙壁上，或用管卡固定在预埋的角钢支架上，如图 2-141 所示。



（a）管卡　（b）单管　（c）双管

图 2-141　明管沿墙壁敷设方法

- 明管沿屋面梁敷设方法如图 2-142 所示。



1—螺栓；2—扁铁箍；3—角钢支架

图 2-142　明管沿屋面梁敷设

② 线管暗敷。

一般顺序：按施工图确定接线盒、灯头盒及线管在墙体、楼板或天花板中的位置，测出线路和管道敷设长度；加工管道，确定好接线盒、灯头盒位置，然后在管口堵上木塞或废纸，在盒内填入废纸或木屑，以防水泥砂浆或杂物进入；将钢管或连接好的接线盒等固定在混凝土模板上；在管与管、管与盒、管与箱的接头两端焊上跨接线，使该管路系统的金属壳体连成一个可靠的连接整体。

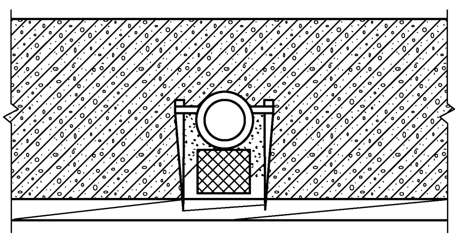


图 2-143　线管固定在混凝土模板上

暗敷工艺：在现浇混凝土楼板内敷设线管，应在浇灌混凝土前进行。用铁丝将管子绑扎在钢筋上，也可用钉子钉在模板上，如图 2-143 所示。

提示：线管暗敷时，在固定线管前应用垫块将管子垫高 15mm 以上，使管子与混凝土模板间保持足够的距离，并防止浇灌混凝土时管子脱开。

线管在砖墙内敷设时，应在土建砌砖时预埋，否则应先在砖墙上留槽或开槽，然后在砖缝里打入木榫并用钉子固定。

在楼板内敷设钢管，由于楼板厚度的限制，钢管外径的选择应满足下列要求：\楼板厚 80mm，钢管外径应小于 40mm；楼板厚 120mm，钢管外径不得超过 50mm。

提示：浇混凝土前，可在灯头盒或接线盒的设计位置预埋木砖，待混凝土固化后，再取出木砖，装入接线盒或灯头盒。

（9）扫管穿线

穿线就是将绝缘导线由配电箱穿到用电设备或由一个接线盒穿到另一个接线盒，穿线工

作一般在土建地坪和粉刷工程结束后进行。

① 扫管穿线步骤如下：

a．清扫线管。用压缩空气或在钢丝上绑以擦布，将管内杂质和水分清除。

b．选用ϕ1.2mm 的钢丝作引线，当线管较短且弯头较少时，可把钢丝引线由管子一端送向另一端。如果线管较长或弯头较多，将钢丝从一端穿入管子的另一端有困难时，可从管子的两端同时穿入钢丝引线，引线端弯成小钩，如图 2-144 所示。当钢丝引线在管中相遇时，用手转动引线使钢丝引线钩在一起，然后把一根引线拉出，即可将导线牵引入管。

c．导线穿入线管前，在线管口应先套上护圈，接着按线管长度与两端连接所需长度余量之和截取导线，削去两端导线绝缘层，同时在两端头标出同一根导线的记号，然后将所有导线按图 2-145 所示方法与钢丝引线缠绕，一人将导线理成平行束并往线管内送，另一人在另一端慢慢抽拉钢丝引线，如图 2-146 所示。

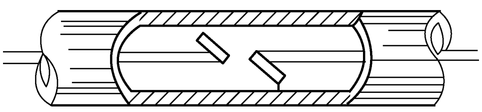


图 2-144　管两端穿入钢丝引线

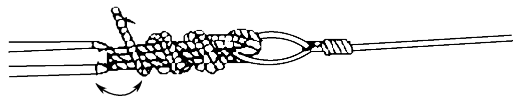


图 2-145　导线与引线的缠绕

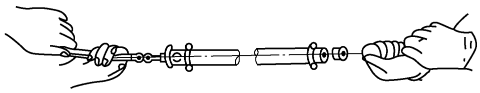


图 2-146　导线穿入管内的方法

② 穿线注意事项如下：

a. 穿管导线的绝缘强度应不低于 500V，导线最小截面积为铜芯线 1mm^2，铝芯线 2.5mm^2。

b．交流电同一回路的导线应穿在一根钢管中，以消除涡流效应。

c．线管内导线不准有接头，也不准穿入绝缘层破损后经过包缠恢复绝缘的导线。

d．穿线时应尽可能将同一回路的导线穿入同一管内，但管内导线一般不得超过 10 根，不同电压等级或不同电能表的导线一般不得穿在同一根线管内。

e．除直流回路导线和接地线外，不得在钢管内穿单根导线。

f．管内导线的总面积（包括绝缘层）不应超过管子内截面积的 40%。

g．穿于垂直管路中的导线每超过下列长度时，应在管口处或接线盒中将导线固定，以防下坠：导线截面积 50mm^2 及以下为 30m；导线截面积 70～90mm^2 为 20m；导线截面积 120～240mm^2 为 18m。

h．导线穿入线管后，在导线的出口处，应装护线套保护导线；在不进入箱、盒内的垂直管口，穿入导线后，应将管口作密封处理。

提示：穿管时，同一管内的导线必须同时穿入。

5）钢索布线

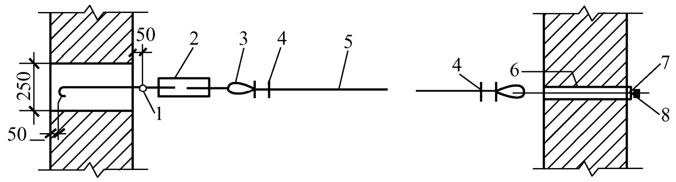
在一般工业厂房或高大场所内，当屋架较高、跨度较大，而又要求灯具安装高度较低时，照明线路可采用钢索布线。所谓钢索布线就是在建筑物两端墙壁上或柱、梁之间架设一根用花篮螺栓拉紧的钢索，再将导线和灯具敷设悬挂在钢索上。导线在钢索上敷设可以采用管子布线、鼓形瓷瓶布线和塑料护套线布线等，与前面不同的是增加了钢索的架设。

钢索布线用的钢索应优先使用镀锌钢索，钢索的单根钢丝直径应小于 0.5mm。在潮湿或有腐蚀性介质等场所，为防止钢索锈蚀，影响安全运行，应使用塑料护套。钢索布线不应使

用含油芯的钢索，因为含油芯的钢索易积灰而锈蚀。布线钢索可用镀锌圆钢。

钢索布线所用钢索的规格应根据跨距、荷重及其机构强度来选择，但采用钢绞线时，最小截面积不宜小于 10mm²；采用镀锌圆钢时，其直径不宜小于 10mm。钢索弛度的大小是靠花篮螺栓调整的。但当钢索长度过大时（超过 50m）应在两端装设花篮螺栓，每超过 50m 应加装一个中间花篮螺栓。为减少钢索弛度（不宜大于 100mm）可增加中间吊钩，其间距不应大于 12m。

钢索在墙上的安装如图 2-147 所示。右端拉环在墙上安装，应在墙体施工阶段配合土建施工预埋 DN25 的钢管作为套管，左侧拉环需在混凝土梁施工中进行预埋，或按右端同样做法。右侧拉环在穿墙体内套管后，在靠外墙的一侧垫上一块 120mm×75mm×5mm 的钢垫板，在钢垫板外再加一个垫圈，用两个螺母拧紧。



1—拉环；2—花篮螺栓；3—索具套环；4—钢索卡；5—钢索；6—套管；7—垫板；8—拉环

图 2-147　钢索在墙上的安装

钢索布线采用扁钢吊卡将钢管或硬塑料管及灯具吊装在钢索上。扁钢吊卡安装应垂直、平整牢固、间距均匀，其间距不应大于 1500mm（塑料管不大于 1000mm），吊卡距灯具接线盒的最大间距不应大于 100mm（塑料管不大于 150mm），如图 2-148 所示。

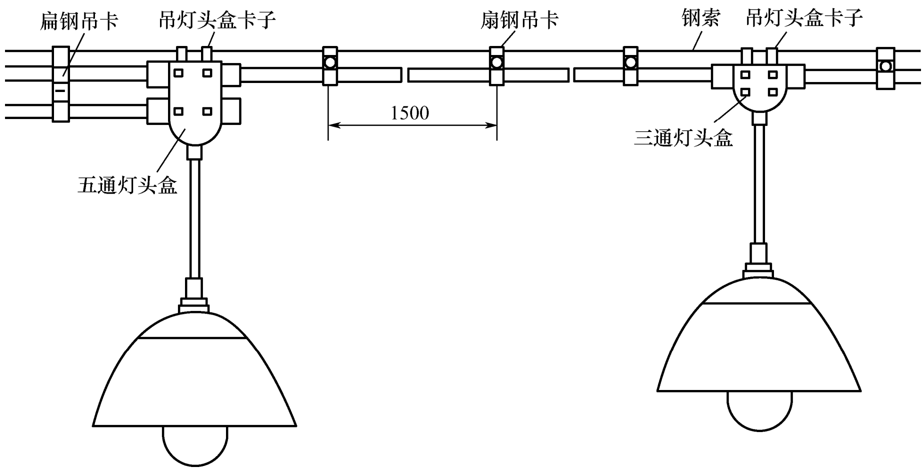


图 2-148　钢索吊管布线示意图

钢索吊塑料护套线布线采用铝皮线卡将塑料护套线固定在钢索上，使用塑料接线盒和接线盒固定钢板把照明灯具吊装在钢索上，如图 2-149 所示。

提示：线卡距灯头盒的最大距离为 100mm；线卡之间最大间距为 200mm。

2. 电气控制线路布线

电气控制线路布线敷设方法与室内线路布线敷设方法有很多共通之处，同时，控制线路布线敷设也有其独特的要求，下面讲解电气控制柜（箱、盘）布线敷设方法（同样适用于控制箱和控制盘）。

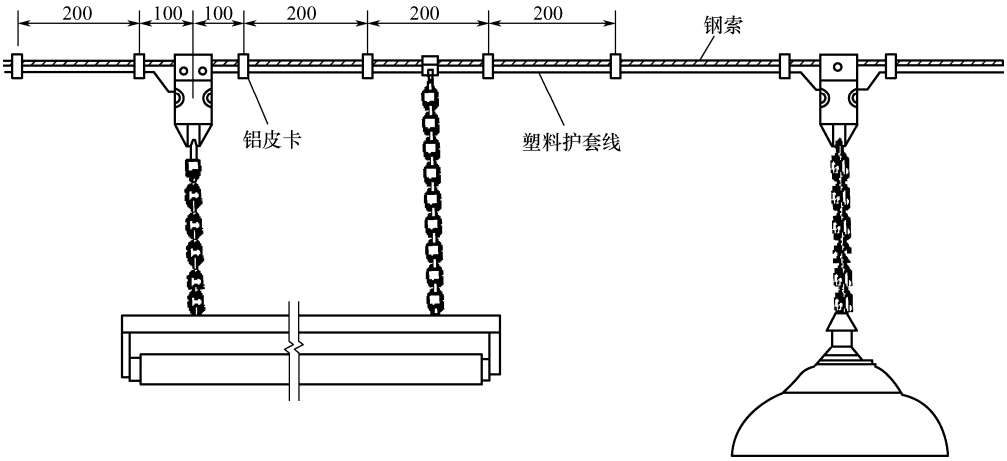


图 2-149　钢索吊塑料护套线布线

（1）电气控制线路导线的选择

① 柜内布线，除设计图纸另有要求外，一般均选用截面积为 1.5mm^2 的单根（如系多股软线，可为 1.0mm^2）铜芯塑料线；当导线的一端被连接到一个可动的部分时，应使用截面积为 2.5～4mm^2 的多股软线。

② 截面积不大于 6mm^2 时，其弯曲半径应大于其外径的 3 倍。活动部分的过渡导线，应有足够的可挠性。

③ 连接电源指示灯导线截面积为 1.5mm^2。

④ 进入断路器和漏电开关的单回路导线的最小截面积为 1.5mm^2。

⑤ 单主电路导线最小截面积为 1.5mm^2。

⑥ 开关跨接线路导线最小截面积 2.5mm^2。

⑦ 进入变压器初级绕组最小截面积为 1.5mm^2。

⑧ 控制线路电源跨接线最小截面积为 1.5mm^2。

⑨ 控制线路最小截面积为 1.0mm^2。

⑩ 面板控制回路至底板接线最小截面积为 1.0mm^2。

⑪ 电压表导线连接线截面积宜为 1.5mm^2。

⑫ 电流互感器导线连接线截面积宜为 1.5mm^2。

⑬ 柜内照明用线截面积宜为 1.0mm^2。

⑭ 特殊情况：PLC、x41、y41 等接插件可用截面积为 0.3mm^2 的导线。

⑮ 传感器信号及模拟信号线用白色导线连接，且最小截面为 1.0mm^2。

提示：电气控制线路布线时，在可拆卸盖板的线槽内（包括绝缘层在内的导线接头处）所有导线截面积之和不应大于线槽截面积的 75%。

（2）布线原则

① 电控柜一般采用能从正面修改布线的方法，如板前线槽布线或板前明线布线，较少采用柜后布线。

② 手工布线时（非模型、模具布线），接线应排列整齐、清晰、美观，导线绝缘良好、无损伤，应符合平直、紧贴敷设面、走线合理及接点不得松动、便于检修等要求。

③ 走线通道应尽可能少，同一通道中的沉底导线，按主电路、控制电路分类集中，单层平行密排或成束，应紧贴敷设面。

④ 导线长度应尽可能短，可水平架空跨越，如两个元件线圈之间、主触头之间的连线等，在留有一定余量的情况下可不紧贴敷设面。

⑤ 同一平面的导线应高低一致或前后一致，不能交叉。当必须交叉时，可水平架空跨越，但走线必须合理。

⑥ 布线应横平竖直，变换走向应垂直 90°。上下触点若不在同一垂直线下，不应采用斜线连接。

⑦ 同一元件、同一回路的不同接点的导线间距离保持一致。

⑧ 导线截面积不同时，将截面积大的放在下层，截面积小的放在上层。

⑨ 主回路多根导线布线时，应做到整体在同一水平面或同一垂直面以内。

⑩ 柜内同一走向的导线都要排成线束，应统一下料，一次排成，切勿逐根增添，以保持走线整齐美观。布线的走向应力求简洁明显，又必须保持横平竖直，尽量减少交叉连接。下料前要将线束敷设路径设计好，并在柜后添设固定线束用的卡子等。

⑪ 盘上同一排电器的连接线都应汇集到同一水平线束上，然后转变成垂直线束，再与下一排电器连接线所汇集的水平线束相汇集，又成为一个较粗的垂直线束，以此类推，构成了柜内的集中布线。当总线束走至端子排区域时，又按上述相反顺序逐步分散至各排端子排上。

⑫ 线槽外部的布线，对装在可拆卸门上的电器接线必须采用互连端子排或连接器，它们必须牢固地固定在框架、控制柜或门上。从外部控制电路、信号电路进入控制柜内的导线如果超过 10 根，必须接到端子排或连接器件过渡，但动力电路和测量电路的导线可以直接接到电器端子上。

⑬ 布线前，可用一根旧导线或细铁丝，按照下线顺序及柜内的电器位置，量出每一根连接导线的实际长度，割切导线段（稍留部分裕度）。

⑭ 下线后，导线必须经过平直。可用浸石蜡的抹布拉直导线，也可用张紧的办法使导线拉直。

⑮ 在平直好的两端拴上写有导线标号的临时标志牌或正式标志头。然后按盘上电器的排列编成线束，线束可绑成圆形或长方形。

⑯ 编制线束时，从线束末端电器或从端子排位置开始，按接线端子的实际接线位置，顺序逐个向另一排编排。边排边绑扎。排线时应保持线束横平竖直。当交叉不可避免时，在穿插处，应使少数导线在多数导线上跨过，并且尽量使交叉集中在一、两个较隐蔽的地方，或把较长、较整齐的线排在最外层，把交叉处遮盖起来，使之整齐美观。

⑰ 线束分支时，必须先卡固线束，从弯曲的里侧到外侧依次弯曲，逐根贴紧。仍应保持横平竖直，弧度一致，导线相互紧靠，每一转角处都要经过绑扎卡固。导线的煨弯不允许使用尖嘴钳、钢丝钳等有锐边尖角的工具，应使用手指或弯线钳（弯曲半径不应小于导线外径的 3 倍）。

⑱ 常采用线槽布线的方法，将绑扎好的线束放入线槽，接至端子排的导线由线槽侧面的穿线孔眼中引出。有时，线束也可以敷设在螺旋状软塑料管内，施工较方便。

⑲ 用于连接电控柜进线的开关或熔座的位置要考虑进线的转弯半径距离。

⑳ 当部分仪表和二次元件安装在电控柜门上时，会遇到二次布线从固定部分到活动部分的延伸。可在电控柜的固定和活动部分距门边 50～70mm 处，分别设置垂直布置的端子排，将它与同侧的电器用导线连接起来；在延伸地点与端子排之间，则用截面积为 2.5～4mm^2 的绝缘软线做成柔软的跨接式布线。软导线的长度应适当留有裕度，使柜门开关不被拉紧。在

不经常开启的控制屏台及配电盘门的转接处，也可不设置专门过渡端子排，而将软导线束在转动交接处两侧用卡子固定。

㉑ 柜内 PLC 输入回路尽量不与主回路及其他电压等级回路的控制线同线槽敷设。

㉒ 面板、门板上的元件中心线的高度应符合表 2-18 规定。

表 2-18　面板、门板上的元件中心线的高度

元 件 名 称	中心线的高度（m）
指示仪表、指示灯	0.6～2.0
电能计量仪表	0.6～1.8
控制开关、按钮	0.6～2.0
紧急操作件	0.8～1.6
端子排	0.35
接地端子	0.2

㉓ 引入电控柜的电缆应排列整齐、编号清晰、避免交叉，并应固定牢固，不得使所接的端子排受到机械力。

㉔ 电动机电缆应独立于其他电缆走线，其最小距离为 500mm。同时应避免电动机电缆与其他电缆长距离平行走线。如果控制电缆和电源电缆交叉，应尽可能使它们按 90° 交叉，同时必须用合适的夹子将电动机电缆和控制电缆的屏蔽层固定到安装板上。

㉕ 不能将装有显示器的操作面板安装在靠近电缆和带有线圈的设备旁边，如电源电缆、接触器、继电器、螺线管阀等，因为它们可以产生很强的磁场。

㉖ 信号线最好只从一侧进入电控柜，信号电缆的屏蔽层双端接地。如非必要，避免使用长电缆。控制电缆最好使用屏蔽电缆。模拟信号的传输线应使用双屏蔽层的双绞线。低压数字信号线最好使用双屏蔽层的双绞线，也可以使用单屏蔽的双绞线。模拟信号和数字信号的传输电缆应该分别屏蔽和走线。在屏蔽电缆进入电控柜的位置，其外部屏蔽部分与电控柜嵌板都要接到一个大的金属台面上。

注意：24V DC 和 115/230V AC 信号线不可共用同一条电缆槽。

㉗ 功率部件（变压器、驱动部件、负载功率电源等）与控制部件（继电器控制部分、PLC 等）必须要分开安装。功率部件与控制部件设计为一体的产品、变频器和相关的滤波器的金属外壳，都应用低电阻与电控柜连接，以减少电流的冲击。理想的情况是将模块安装到一个导电良好的黑色金属板上，并将金属板安装到一个大的金属台面上。

㉘ 设计电控柜时要注意区域原则，即把不同的设备规划在不同的区域中。不同区域最好用金属壳或在柜体内用接地隔板隔离。

㉙ 端子应有序号，端子排应便于更换且接线方便。

㉚ 如果线路简单可不套编码套管。

㉛ 电控柜外部布线时，除有适当保护的电缆外，布线必须全部装在导线通道内，使导线有适当的机械保护，防止液体、铁屑和灰尘的侵入。

㉜ 若导线端头不能采用针形或叉形扎头时，也要做到线头与接线端子的紧密连接，接线点不得松动。接线端子板的不带电金属外壳或底板应可靠接地。

㉝ 通电校验前再检查一下熔体规格及整定值是否符合电路图要求。

提示：

① 导线通道应留有余量，允许以后增加导线。导线通道必须固定可靠，内部不得有锐边和运动部件。

② 导线通道采用的钢管的壁厚应不小于 1mm，如用其他材料，壁厚必须有等效壁厚为 1mm 钢管的强度。若用金属软管时，必须有适当的保护。当利用设备底座做导线通道时，无须再加预防措施，但必须能防止液体、铁屑和灰尘的侵入。

（3）线槽的安装

① 线槽应平整、无扭曲变形，内壁应光滑、无毛刺，韧性好。

② 线槽的连接应连续无间断。每节线槽的固定点不应少于两个。在转角、分支处和端部均应有固定点，并紧贴墙面固定。

③ 线槽接口与出线口应平直、光滑、无毛刺、接口应严密，槽盖应齐全、平整、无翘角。

④ 固定或连接线槽的螺钉或其他紧固件，紧固后，其端部应与线槽内表面光滑相接。

⑤ 槽敷设应平直整齐，水平或垂直允许偏差为其长度的 2‰，全长允许偏差为 20mm。

⑥ 并列安装时，槽盖应便于开启。

⑦ 连接元件的铜接头过长时，应适当放宽元件与线槽间的距离。

⑧ 线槽与各元件之间的直线距离：接触器和热继电器的接线端子为 30mm，控制端子为 20mm、动力端子为 30mm、中间继电器和其他控制元件为 20mm、断路器和漏电断路器等元件的接线端子为 30mm、其他载流元件为 30mm。

⑨ 端子等集中布置的元件的短接线不进入线槽，以方便检查和节省线槽排线空间。

⑩ 元器件安排必须符合规定的间隔和爬电距离，并应考虑有关的维修条件。控制箱中的裸露、无电弧的带电零件与控制箱导体壁板间的间隙为：对于 250V 以下电压，间隙应不小于 15mm；对于 250～500V 电压，间隙应不小于 25mm。

（4）柜内导线连接

除了前面讲到的导线连接方法外，在配电柜内进行导线连接，还应注意以下事项：

① 柜内各电器之间一般不经过接线端子而用导线直接连接，同时绝缘导线本身不应有接头。当需要随时接入试验仪器仪表时，则应经过试验型端子连接。

② 柜内各电器与柜外设备的连接必须通过端子排。端子排与柜内电器的连接线一般由端子排的里侧（端子排竖放时）或上侧（端子排横放时）引出；端子排与柜外设备、柜后附件、小母线等的连接线（或引出线）一般由端子排的外侧（端子排竖放时）或下侧（端子排横装时）引出。

③ 每一个连接端子一般只连接两根导线，即上下侧（或里外侧）各一根。当端子的任一侧螺钉下必须压入两根导线时，两导线间必须加装一个垫圈。端子任一侧螺钉下不准压入三根或更多导线（此时可增设连接型端子，将导线分散在两个或数个端子上）。

④ 当铝合金件与非铝合金件连接时，应使用绝缘衬垫隔开，防止电解腐蚀的影响。

⑤ 铝制构件与钢制件连接时，应采取适当措施，避免直接接触，防止产生电解腐蚀。

⑥ 当元件本身自带预制导线时，应采用转接端子与柜内导线连接，尽量不使用直接对接的方法。

⑦ 有些端子不适合连接软导线时，可在导线端头上采用针形、叉形等冷压接线头。如果采用专门设计的端子，可以连接两根或多根导线，但导线的连接方式，必须是各种成熟的工艺方式，如夹紧、压接、焊接、绕接等。连接时应严格按照工序要求进行。

⑧ 导线的接头除必须采用焊接方法外，所有导线的接头都应当采用冷压接线。如果电气设备在正常运行期间承受很大振动，则不许采用焊接接头，而应直接采用冷压接线头。

⑨ 连接导线端部一般应采用专用电线接头。当设备接线柱是压板插入式时，使用扁针铜接头压接后再接入。当导线为单芯硬线则不能直接用电线接头，而应将线端做成环形接头后再接入。

⑩ 如进入断路器的导线截面积小于 6mm^2，当接线端子为压板式时，先将导线进行压接铜接头处理，以防止导线的散乱；如导线截面积大于 6mm^2，应将露铜部分用细铜丝环绕绑紧后再接入压板。

⑪ 导线截面积不大于 10mm^2 的单股铜芯线和单股铝芯线可直接与设备、器具的端子连接。

⑫ 截面积为 2.5mm^2 及以下的多股铜芯线的线芯应先拧紧搪锡，或压接端子后再与设备、器具的端子连接。

⑬ 多股铝芯线和截面积大于 2.5mm^2 的多股铜芯线的终端，除设备自带插接式端子外，应焊接或压接端子后再与设备、器具的端子连接。

⑭ 紧固件应拧紧到位，防松装置应齐全。

⑮ 当一根控制电缆的电缆芯需要接到电控柜的两侧端子排时，一般应在柜的一侧加设过渡端子排，然后再另敷短电缆引渡到另一侧的端子排上。

⑯ 外部接线不得使电器内部受到额外应力。

⑰ 橡胶绝缘的芯线应使用外套绝缘管保护。

提示：外露在线槽外的柜内照明用线必须用缠绕管保护。面板接线的外露部分应该用缠绕管保护。

2.3.5　电气元件安装

本节先讲解电气元件安装最常用的几种方法：钻孔、攻丝和套丝，然后叙述电气元件安装的要求及其他方法。

1. 钻孔

用钻头在工件材料上加工出孔的方法称为钻孔。用钻床钻孔时，工件装夹在钻床工作台上，固定不动；钻头装在钻床主轴上（或装在与主轴连接的钻夹头上），一面旋转（主运动），一面沿钻头轴线向下直线运动（进给运动）。

1）钻孔设备和工具

常用钻孔设备和工具有台式钻床（简称台钻）、电钻、钻头。钻头中麻花钻是最常用的一种。

2）钻孔的操作步骤

① 划线冲眼：按钻孔位置尺寸划好孔位的十字中心线，并打出小的中心样冲眼。按孔径大小、划孔的圆周线和检查圆，再将中心样冲眼打深。

② 工件的夹持：钻孔时应根据孔径和工件形状、大小，采用合适的夹持方法，以保证质量和安全。

手握法：钻孔直径在 8mm 以下且表面平整的工件可以用手握法钻孔。有毛刺、缺口、锋口或体积过小，以及薄型材料和工件，都不准采用手握法。

钳夹法：有手虎钳和平口钳夹持两种。手虎钳适用于手握法不能把持的工件；平口钳适

用于钻较大孔径的工件或精度较高的工件。

螺栓定位法：适用于钻孔径较大而又较长的工件。

压板夹持法：适用于圆柱形工件。

③ 钻孔时的切削量：切削量是指钻头在钻削过程中的切削速度、进给量和吃刀深度的总称。通常钻小孔的钻削速度可快些，进给量要小些；钻较大孔时，钻削速度要慢些，进给量适当大些；钻硬材料，钻削速度要慢些，进给量要小些；钻软材料，钻削速度要快些，进给量也要大些。

④ 钻孔操作方法：钻孔时，将钻头对准中心样冲眼进行试钻，试钻出来的浅坑应保持在中心位置，如有偏移要及时纠正。

纠正方法：可在钻孔的同时用力将工件向偏移的反方向推移，达到逐步纠正。当试钻达到孔位要求后，即可压紧工件完成钻孔。钻孔时要经常退钻排屑；孔将钻穿时，进给力必须减小，以防止钻头折断或工件随钻头转动而造成事故。

⑤ 钻孔时的冷却润滑：为了使钻头散热冷却，减少钻削时钻头与工件、切屑之间的摩擦，提高钻头的耐用度和改善加工孔的表面质量，钻孔时要加注足够的冷却润滑液。钻钢件时可用 3%～5%的乳化液；钻铜、铝及铸件等材料时，一般可不加，或用 5%～8%的乳化液连续加注。

3）钻孔安全知识

① 操作钻床时不可戴手套，袖口要扎紧，必须戴工作帽。

② 工件必须夹紧，孔将钻穿时，要尽量减小进给力。

③ 开动钻床前，应检查是否有钻夹头钥匙或斜铁插在钻轴上。

④ 钻孔时不可用手、棉纱或嘴吹等方法清除切屑，要用毛刷或绑钩清除，并尽可能在停车时清除。

⑤ 头不准与旋转的主轴靠得太近，停车时应让主轴自然停止。严禁用手捏刹钻头，严禁在开车状态下装拆工件或清洁钻床。

2. 攻丝和套丝

用丝锥在孔中切削出内螺纹称为攻丝，用板牙在圆杆上切削出外螺纹称为套丝。

1）攻丝

（1）攻丝工具

丝锥是加工内螺纹的工具，绞手是用来夹持丝锥的工具。

（2）攻丝方法

攻丝前应确定底孔直径，底孔直径应比丝锥螺纹小径略大，还要根据工件材料性质来考虑，可用下列经验公式计算。

钢和塑性较大的材料：　　$D \approx d - t$

铸铁等脆性材料：　　$D \approx d - 1.05t$

式中　D——底孔直径（mm）；

d——螺纹大经（mm）；

t——螺距（mm）。

攻丝操作方法如下：

① 划线，钻底孔，底孔孔口应倒角，通孔应两端倒角，便于丝锥切入，并可防止孔口的

螺纹崩裂。

② 攻丝前工件夹持位置要正确，尽量使螺纹孔中心线置于水平或垂直位置，便于攻丝时掌握丝锥是否垂直于工件平面。

③ 先用头锥起攻，丝锥一定要和工件垂直，可一手按住绞手中部，用力加压；另一手配合，顺向旋转，或两手握住绞手均匀施加压力，并将丝锥顺向旋转。

④ 攻丝时必须按头锥、二锥、三锥顺序攻削，直至标准尺寸。对于较硬材料上的攻丝，可轮换各丝锥，交替攻下，以减少切削部分的负荷，防止丝锥折断。

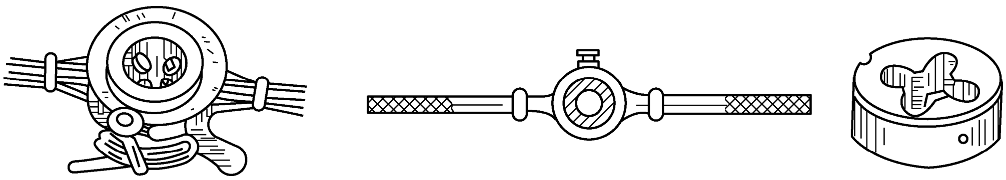
⑤ 孔攻不通时，应在丝锥上做深度标记，并要经常退出丝锥，排除切屑。

提示：攻丝时要加注冷却润滑液。攻钢件时用机油，攻铸件时可加煤油。

2）套丝

（1）套丝工具

板牙是加工外螺纹的套丝工具，板牙绞手用于安装板牙，与板牙配合使用。其外形如图 2-150 所示。



（a）钢管绞板　（b）板架　（c）板牙

图 2-150　套丝绞板

（2）套丝的操作方法

① 将圆柱体（或圆柱管）端部倒成 15°～20°的椎体，且椎体的小端直径略小于螺纹小径，使切出的螺纹起端避免出错锋口；否则，螺纹起端容易发生卷边而影响拧入螺母。

② 工件用虎钳夹持，套丝部分尽可能接近钳口，夹持必须牢固可靠。

③ 开始套丝时，用一手按住绞手中部，沿工件的轴向施加压力；另一手配合顺向切进，转动要慢，压力要大，并保证板牙端面和工件轴向的垂直度，否则会出现螺纹一边深一边浅的现象，并且容易发生烂牙。当板牙旋入 3～4 转时，不要再施加压力，只要顺着旋转方向均匀地推板牙绞手柄即可，注意经常倒转排屑。

④ 在钢件上套丝时，要加润滑冷却液，以提高加工螺纹的光洁度和延长板牙的寿命。一般可用机油或较浓的乳化液，要求高时可用工业植物油。

3. 电气元件安装

（1）电气元件安装要求

① 必须按布线图划线后安装控制板上的走线槽及电气元件，要做到元件安装牢固，不得有松动。排列应整齐、匀称、合理、便于走线和更换元件。

② 电气元件的紧固程度要适当，受力要均匀，以避免损坏元件。

③ 所有电器必须安装在便于更换、方便检测的地方。

④ 元器件组装顺序从板前看，应从左到右，由上至下。

⑤ 同一型号产品应保证组装一致性。

⑥ 在不通电的情况下，校验控制板内部布线的正确性。必要时，也可进行通电校验。DIN 卡轨及卡轨接线端子如图 2-151 和图 2-152 所示。



图 2-151　DIN 卡轨

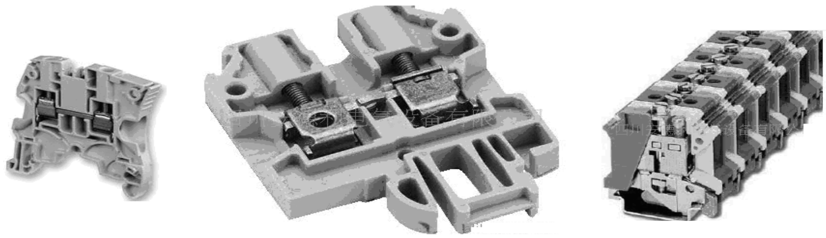


图 2-152　DIN 卡轨接线端子

（2）元件的布置

① 除了手动控制开关、信号灯和测量仪器外，门上不要安装任何器件。

② 由电源电压直接供电的电器最好装在一起，使其与仅由控制电压供电的电器分开。

③ 电源开关最好装在柜内右上方，其操作手柄应装在控制箱前面和侧面。电源开关上方最好不安装其他电器，否则，应把电源开关用绝缘材料盖住，以防电击。

④ 主令操纵电气元件及整定电气元件的布置应避免由于偶然触及其手柄、按钮而误动作或动作值变动的可能性，整定装置一般在整定完成后应以双螺母锁紧并用红漆漆封，以免移动。

⑤ 不同系统或不同工作电压的熔断器应分开布置，不能交错混合排列。

⑥ 柜内的电子元件的布置要尽量远离主回路、开关电源及变压器，不得直接放置或靠近柜内其他发热元件的对流方向。

⑦ 强弱电端子应分开布置；当有困难时，应有明显标志并设空端子隔开或设加强绝缘的隔板。

⑧ 按钮之间的距离宜为 50～80mm；按钮箱之间的距离宜为 50～100mm；当倾斜安装时，其与水平线的倾角不宜小于 30°。

⑨ 发热元件的布置：

- 安放发热元件时，必须使柜内所有元件的温升保持在允许极限内。对发热量很大的元件，如电动机的启动、制动电阻等，必须隔开安装，必要时可采用风冷。
- 一般发热量大的设备安装在靠近出风口处。进风风扇一般安装在下部，出风风扇安装在电控柜上部。
- 发热元件宜安装在散热良好的地方，两个发热元件之间的连线应采用耐热导线或裸铜线套瓷管。
- 二极管、三极管及晶闸管、矽堆等电力半导体，应将其散热面或散热片的风道呈垂直方向安装，以利散热。
- 电阻器等电热元件一般应安装在电控柜上方，安装方向及位置应考虑利于散热并尽量减少对其他元件的热影响。

- 额定功率为 75W 及以上的管形电阻器应横装，不得垂直地面竖向安装。

⑩ 熔断器的布置：

- 熔断器安装位置及相互间距离应便于熔体的更换。
- 有熔断指示器的熔断器，其指示器应装在便于观察的一侧。
- 瓷质熔断器在金属底板上安装时，其底座应垫软绝缘衬垫。
- 低压断路器与熔断器配合使用时，熔断器应安装在电源侧。

（3）元器件的安装方法

① 元件的安装应牢固，固定方法应是可拆卸的，并应采用标准件。

② 电源侧进线应接在进线端，即固定触头接线端；负荷侧出线应接在出线端，即可动触头接线端。

③ 低压电器根据其不同的结构，可采用支架、金属板、绝缘板固定在墙、柱或其他建筑构件上。金属板、绝缘板应平整。当采用卡轨支撑安装时，卡轨应与低压电器匹配，并用固定夹或固定螺栓与壁板紧密固定，严禁使用变形或不合格的卡轨。

④ 安装易因震动损坏的元件时，应在元件和安装板之间加装橡胶垫减震。

⑤ 对于有操作手柄的元件应将其调整到位，不得有卡阻现象。

⑥ 具有电磁式活动部件或借重力复位的电气元件（如各种接触器及继电器），其安装方式应严格按照产品说明书的规定，以免影响其动作的可靠性。

⑦ 面板上安装元器件（如按钮）时，为了提高效率和减少错误，应先用铅笔直接在门后写出代号，再在相应位置贴上标签，最后安装器件并贴上标签。

⑧ 螺旋式熔断器的安装，其底座严禁松动，电源应接在熔芯引出的端子上。

⑨ 箱内电气元件（如接触器、继电器等）应按原理图上的顺序编号，牢固安装在电控柜上，并在醒目处贴上各元件相应的文字符号。

提示：低压断路器宜垂直安装，其倾斜度不应大于 5°。

（4）元器件的紧固

① 电气元件的紧固应设有防松装置，一般应放置弹簧垫圈及平垫圈。弹簧垫圈应放置于螺母一侧，平垫圈应放置于紧固螺钉的两侧。如采用双螺母锁紧或其他锁紧装置时，可不设弹簧垫圈。

② 有防震要求的电器应增加减震装置，其紧固螺栓应采取防松措施。

③ 螺栓规格应选配适当，电器的固定应牢固、平稳。

④ 采用在金属底板上搭牙紧固时，螺栓旋紧后，其搭牙部分的长度应不小于螺栓直径的 0.8 倍，以保证强度。

提示：电气元件的紧固件应镀锌或有其他可靠的金属防蚀层。

（5）元器件接地线的安装要求

① 确保所有设备接地良好，使用短和粗的接地线连接到公共接地点或接地母排上。连接到变频器的任何控制设备（如 PLC）要与其共地，也要使用短和粗的导线接地。最好采用扁平导体（如金属网），因其在高频时阻抗较低。

② 保护接地连续性利用有效接线来保证。柜内任意两个金属部件通过螺钉连接时，如有绝缘层均应采用相应规格的接地垫圈，并注意垫圈齿面接触零部件表面，或者破坏绝缘层。

③ 主回路元器件，一般电抗器、变压器需要接地，断路器不需要接地。

④ 门上的接地处要加“抓垫”，防止因为油漆的问题而接触不好，而且连接线尽量短。

⑤ 如果设备运行在一个对噪声敏感的环境中，可以采用 EMC 滤波器减小辐射干扰。同时为达到最佳的效果，应确保滤波器与安装板之间有良好的接触。

⑥ 中央接地排组和 PE 导电排必须接到横梁上（金属到金属连接）。它们必须在电缆压盖处正对的位置附近。中央接地排额外还要通过另外的电缆与保护电路（接地电极）连接。屏蔽总线用于确保各个电缆的屏蔽连接可靠，它通过一个横梁实现大面积的金属到金属的连接。

⑦ 电控柜内所有接地线线端处理后不得使用绝缘套管遮盖端部。

提示：面板和柜体的接地跨接导线不应缠入线束内。

2.3.6 防雷接地安装

本节所讲接地安装方法适用于建筑工程的建筑物和构筑物的防雷及防雷接地、保护接地、工作接地、重复接地及屏蔽接地等。

1. 概述

（1）施工准备

安装前，要进行施工准备，包括材料、主要机具等方面的准备，并具备各种作业条件，如接地体、接地干线、支架安装、防雷引下线暗敷设、防雷引下线明敷设、避雷带与均压环安装、避雷网安装、避雷针安装作业条件。

（2）工艺流程

接地体→接地干线→引下线暗敷（支架、引下线明敷）→避雷带或均压环→避雷针（避雷网）。

2. 人工接地体的安装

（1）接地体的加工

接地体的材料一般采用钢管和角钢切割，长度应不小于 2.5m。如采用钢管打入地下，应根据土质加工成一定的形状。遇松软土壤时，可切成斜面形；为了避免打入时受力不均使管子歪斜，也可加工成扁尖形；遇土质很硬时，可将尖端加工成锥形，如选用角钢时，应采用不小于 40mm×40mm×4mm 的角钢，切割长度不应小于 2.5m，角钢的一端应加工成尖头形状。

（2）挖沟

根据设计图要求，对接地体（网）的线路进行测量弹线，在此线路上挖掘深为 0.8～1m、宽为 0.5m 的沟，沟上部稍宽，底部如有石子应清除。

（3）安装接地体（极）

沟挖好后，应立即安装接地体和敷设接地扁钢，防止土方坍塌。先将接地体放在沟的中心线上，打入地中，一般采用大锤打入，一人扶着接地体，一人用大锤敲打接地体顶部。为了防止将钢管或角钢打劈，可加一护管帽套入接地管顶端，角钢接地可采用短角钢（约 10cm）焊在接地角钢顶即可。

提示：使用大锤敲打接地体时要平稳，锤击接地体正中，不得打偏，应与地面保持垂直，当接地体顶端距离地 600mm 时停止打入。

（4）接地体间的扁钢敷设

扁钢敷设前应调直，然后将扁钢放置于沟内，依次将扁钢与接地体用电焊（气焊）焊接。扁钢应侧放而不可放平，侧放时散流电阻较小。扁钢与钢管连接的位置距接地体最高点约100mm。焊接时应将扁钢拉直，焊好后清除药皮，刷沥青防腐，并将接地线引出至需要位置，留有足够的连接长度，以待使用。

（5）核验接地体（线）

接地体连接完毕后，应及时请质检部门进行隐检接地体材质、位置、焊接质量，接地体（线）的截面规格等均应符合设计及施工验收规范要求，经检验合格后方可进行回填，分层夯实。

提示：检验合格后，要将接地电阻测量数值填写在隐检记录上，以备验收。

3. 自然基础接地体的安装

（1）利用无防水底板钢筋或深基础做接地体

按设计图尺寸位置要求标好位置，将底板钢筋搭接焊好。再将柱主筋底部与底板筋搭接焊好，并在室外地面以下将主筋焊好连接板，消除药皮，并将两根主筋用色漆做好标记以便于引出和检查。应及时请质检部门进行隐检，同时做好隐检记录。

提示：利用无防水底板钢筋或深基础做接地体时，与底板筋搭接焊接的柱主筋应不少于两根。

（2）利用柱形桩基及平台钢筋做接地体

按设计图尺寸位置找好桩基组数位置，把每组桩基四角钢筋搭接封焊，再与柱主筋（不少于两根）焊好，并在室外地面以下，将主筋预埋好接地连接板，清除药皮，并将两根主筋用色漆做好标记以便于引出和检查。应及时请质检部门进行隐检，同时做好隐检记录。

4. 接地干线的安装

1）室外接地干线敷设

① 首先进行接地干线的调直、测位、打眼、煨弯，并将断接卡子及接地端子装好。

② 敷设前按设计要求的尺寸位置先挖沟，然后将扁钢放平埋入。

提示：回填土应压实但不需打夯，接地干线末端露出地面应不超过 0.5m，以便接引地线。

2）室内接地干线明敷设

（1）预留孔与埋设支持件

按设计要求尺寸位置预留出接地线孔，预留孔的大小应比敷设接地干线的厚度、宽度各大出 6mm 以上。其方法如下：

① 施工时可按上述要求尺寸锯一段扁钢预埋在墙壁内，当混凝土还未凝固时，抽动扁钢以待凝固后易于抽出。

② 将扁钢上包一层油毛毡或几层牛皮纸后埋设在墙壁内，预留孔距墙壁表面应为 15～20mm。

③ 保护套可用厚 1mm 以上铁皮做成方形或圆形，大小应使接地线穿入时，每边有 6mm 以上的空隙。

（2）支持件固定

根据设计要求先在砖墙（或加气混凝土墙、空心砖）上确定坐标轴线位置，然后随砌墙

将预制成 50mm×50mm 的方木样板放入墙内，待墙砌好后将方木样板剔出，然后将支持件放入孔内，同时洒水淋湿孔洞，再用水泥砂浆将支持件埋牢，待凝固后使用。现浇混凝土墙上固定支架，先根据设计图要求弹线定位，钻孔，支架做燕尾埋入孔中，找平正，用水泥砂浆进行固定。

（3）明敷接地线安装

当支持件埋设完毕，水泥砂浆凝固后，可敷设墙上的接地线。将接地扁钢沿墙吊起，在支持件一端用卡子将扁钢固定，经过隔墙时穿跨预留孔，接地干线连接处应焊接牢固。末端预留或连接应符合设计要求。

5. 避雷针制作与安装

（1）避雷针制作

按设计要求的材料所需的长度分上、中、下三节进行下料。如针尖采用钢管制作，可先将上节钢管一端锯成锯齿形，用手锤收尖后，进行焊缝磨尖、刷锡，然后将另一端与中、下两节钢管找直，焊好。

（2）避雷针安装

先将支座钢板的底板固定在预埋的地脚螺栓上，焊上一块肋板，再将避雷针立起，找直、找正后，进行点焊，然后加以校正，焊上其他三块肋板。最后将引下线焊在底板上，清除药皮刷防锈漆。

6. 支架安装

① 应尽可能随结构施工预埋支架或铁件。

② 根据设计要求进行弹线及分档定位。

③ 用手锤、錾子进行剔洞，洞的大小应里外一致。

④ 首先埋注一条直线上的两端支架，然后用铅丝拉直线埋注其他支架。在埋注前应先把洞内用水浇湿。

⑤ 如用混凝土支座，将混凝土支座分档摆好。先在两端支架间拉直线，然后将其他支座用砂浆找平、找直。

提示：如果女儿墙预留有预埋铁件，可将支架直接焊在铁件上，支架找直方法同前。

7. 防雷引下线敷设

（1）防雷引下线暗敷设

① 首先将所需扁钢（或圆钢）用手锤（或钢筋扳子）进行调直或拉直。

② 将调直的引下线运到安装地点，按设计要求随建筑物引上，挂好。

③ 及时将引下线的下端与接地体焊接好，或与断接卡子连接好。随着建筑物的逐步增高，将引下线敷设于建筑物内至屋顶为止。如需接头则应进行焊接，焊接后应敲掉药皮并刷防锈漆（现浇混凝土除外），并请有关人员进行隐检验收，做好记录。

④ 利用主筋（直径不小于 16mm）作为引下线时，按设计要求找出全部主筋位置，用油漆标记，距室外地坪 1.8m 处焊好测试点，随钢筋逐层串联焊接至顶层，焊接出一定长度的引下线，搭接长度不应小于 100mm，做完后请有关人员进行隐检，做好隐检记录。

⑤ 土建装修完毕后，将引下线在地面上 2m 的一段套上保护管，并用卡子将其固定牢固，

刷上红白相间的油漆。

（2）防雷引下线明敷设

① 引下线如为扁钢，可放在平板上用手锤调直；如为圆钢可将圆钢放开，一端固定在牢固的地锚的夹具上，另一端固定在绞磨（或倒链）的夹具上，进行冷拉调直。

② 将调直的引下线运到安装地点。

③ 将引下线用大绳提升到最高点，然后由上而下逐点固定，直至安装断接卡子处。如需接头或安装断接卡子，则应进行焊接。焊接后，清除药皮，局部调直，刷防锈漆。

④ 用镀锌螺栓将断接卡子与接地体连接牢固。

提示：接地线地面以上 2m 段，应套上保护管，并卡固及刷红白油漆。

8. 避雷网安装

① 避雷网如为扁钢，可放在平板上用手锤调直；如为圆钢，可将圆钢放开，一端固定在牢固的地锚的夹具上，另一端固定在绞磨（或倒链）的夹具上，进行冷拉调直。

② 将调直的避雷带运到安装地点。

③ 将避雷线用大绳提升到顶部、顺直、敷设、卡固、连接连成一体，同引下线焊接。焊接处的药皮应敲掉，进行局部调直后刷防锈漆及铅油（或银粉）。

④ 建筑物屋顶上突出物，如金属旗杆、透气管、金属天沟、铁栏杆、爬梯、冷却水塔、电视天线等，这些部位的金属导体都必须与避雷网焊接成一体。顶层的烟囱应设避雷带或避雷针。

⑤ 在建筑物的变形缝处应做防雷跨越处理。

⑥ 避雷网分明网和暗网两种，暗网格越密，其可靠性就越好。网格的密度应视建筑物防雷等级而定，防雷等级高的建筑物可使用 10m×10m 的网格，防雷等级低的一般建筑物可使用 20m×20m 的网格，如果设计有特殊要求应按设计要求执行。

9. 均压环（或避雷带）安装

① 避雷带可以暗敷设在建筑物表面的抹灰层内，或直接利用结构钢筋，并应与暗敷的避雷网或楼板的钢筋相焊接，所以避雷带实际上也就是均压环。

② 利用结构圈梁里的主筋或腰筋与预先准备好的约 20cm 的连接钢筋头焊接成一体，并与柱筋中引下线焊成一个整体。

③ 圈梁内各点引出钢筋头，焊完后，用圆钢（或扁钢）敷设四周，圈梁内焊接好各点，并与周围各引下线连接后形成环形。同时在建筑物外沿金属门窗、金属栏杆处甩出 30cm 长的ϕ12mm 镀锌圆钢备用。

④ 外檐金属门、窗、栏杆、扶手等金属部件的预埋焊接点不应少于两处，与避雷带预留的圆钢焊成整体。

提示：利用建筑外表面金属扶手、栏杆做避雷带时，拐弯处应弯成圆弧活弯，栏杆应与接地引下线可靠焊接。

10. 接地实例

① 接地体安装，如图 2-153 所示。

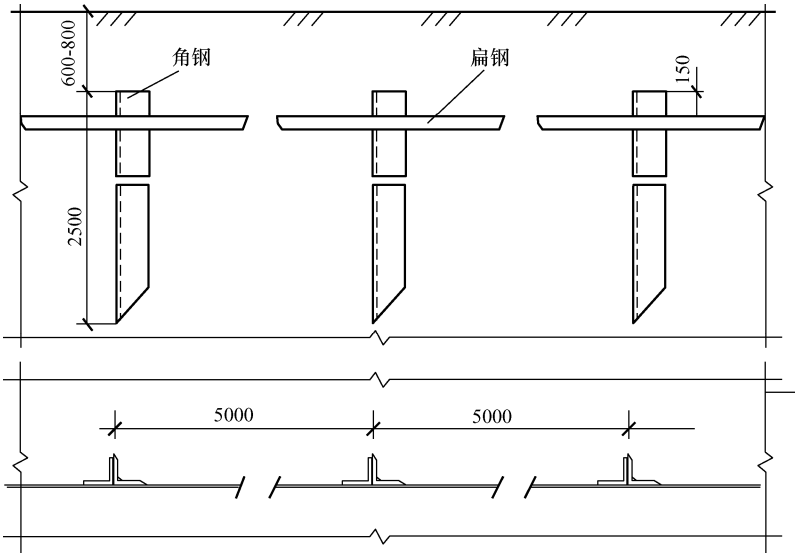


图 2-153　接地体安装示意图

② 电气设施的接地做法，如图 2-154 所示。

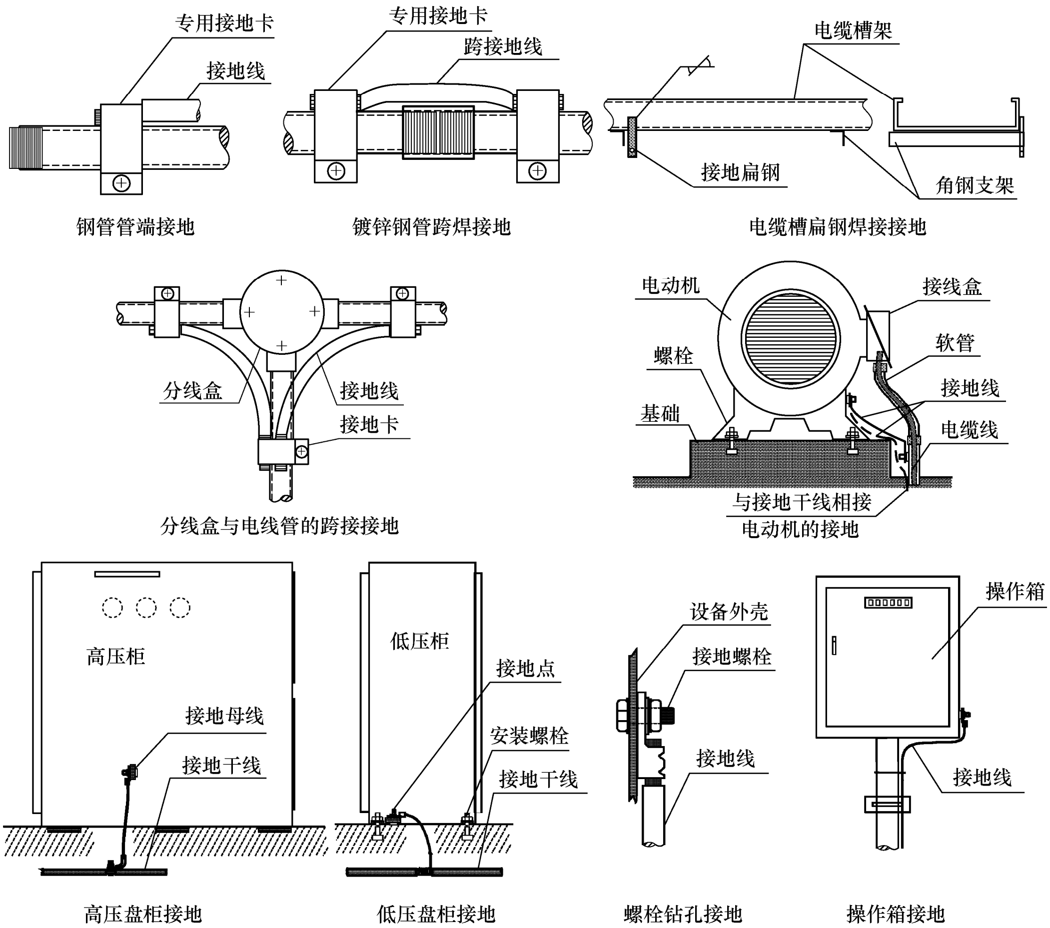
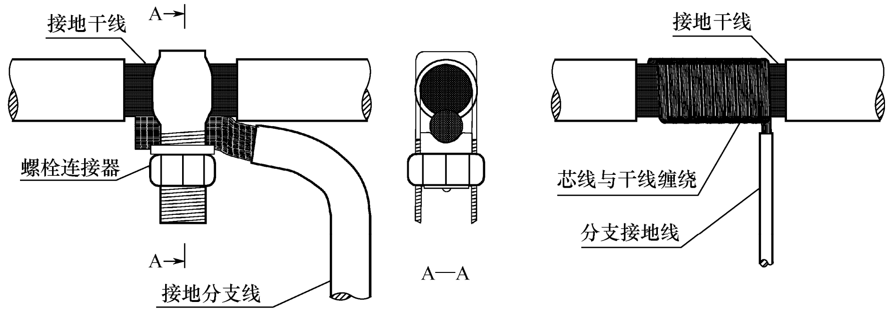


图 2-154　电气设施的接地做法

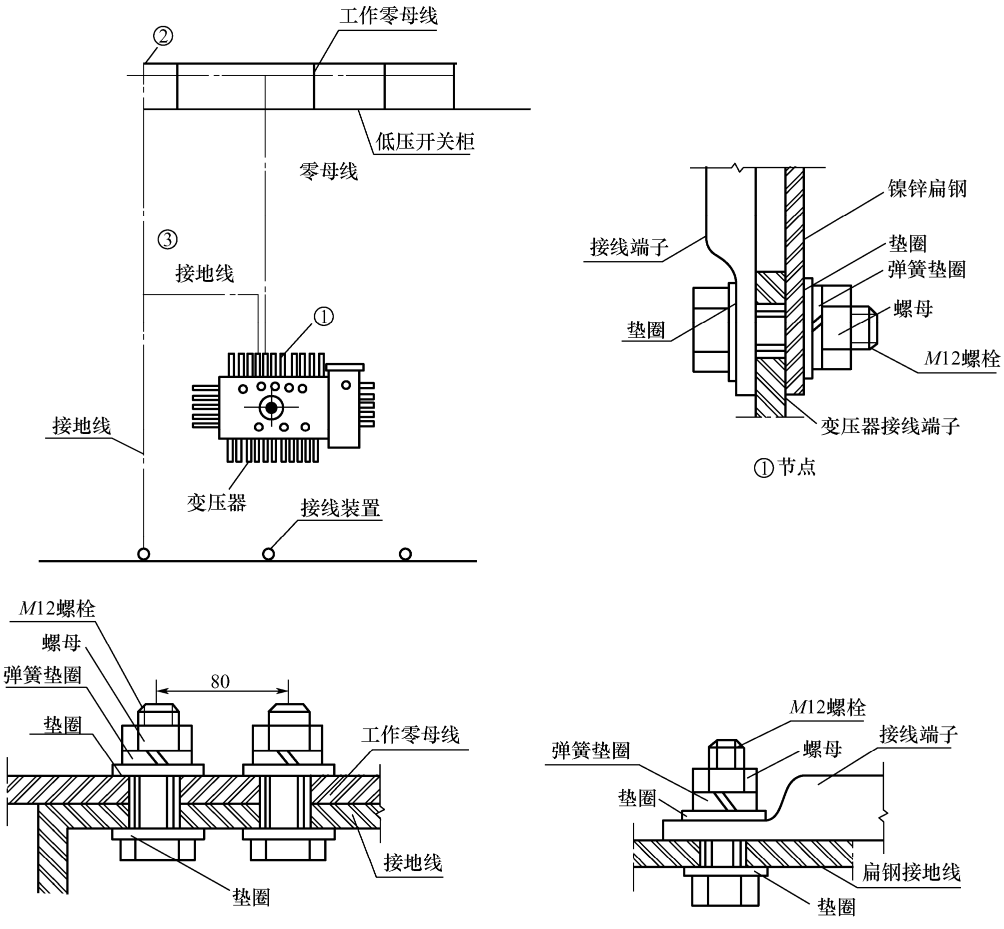
③ 绝缘导线作为接地线的连接，如图 2-155 所示。



使用螺螺栓连妆器连接分支线　　　直接使用芯线缠绕连接分支线

图 2-155　绝缘导线作接地线的连接

④ 变压器出线零母线和接地线安装做法，如图 2-156 所示。



②节点　　　③节点

图 2-156 变压器出线零母线和接地线安装做法

2.4　C616 车床控制线路装调

1. C616 车床电气控制线路装调要求

① 阅读电路图，明确线路所用电气元件及作用，熟悉线路工作原理。

② 清点电气元件并进行检验。

③ 按照安装接线图安装电气元件并贴上醒目的文字符号，工艺要求如下（具体要求参考后面附录）：

a．断路器、熔断器受电端应安装在控制板的外侧，并使熔断器的受电端为底座中心端；

b．电气元件的安装位置应整齐、均匀，间距合理，便于元件的更换；

c．紧固元件时要用力均匀，紧固程度适当，尤其对熔断器和接触器等。

④ 按照电气安装接线图的走线方法进行板前明线布线和套编码套管，工艺要求如下：

a．布线通道尽可能少，同路并行导线按主、控电路分类集中，单层密排，紧贴安装面布线；

b．同一平面的导线高低应一致，不能交叉；

c．布线应横平竖直，分布均匀，变换走向时应垂直；

d．布线时严禁损伤线芯和导线绝缘；

e．布线顺序一般以接触器为中心，由里向外，由低至高，先控制电路，后主回路，以不妨碍后续布线为原则；

f. 在每根剥去绝缘层导线的两端套上编码套管，所有从一个接线端子到另一个接线端子的导线必须连续，中间无接头；

g．导线与接线端子连接时，不得压绝缘层，也不能露铜过长；

h．同一个元件、同一回路的不同接点的导线间距离应保持一致；

i．一个元件接线端子上的连接导线不得多于两根，每节接线端子板上的连接导线一般只允许连接一根。

⑤ 连接电动机和按钮金属外壳的保护接地线。

⑥ 连接电源、电动机、按钮开关等配电盘外部的导线。

⑦ 安装完毕的控制线路板，必须经过认真检查后才允许通电试车，要求如下：

a．按照电器原理图从电源端开始，逐段核对有无漏接、错接。检查导线接点压接是否牢固，接触应良好；

b．用万用表检查线路的通断情况，对控制电路的检查，可将表笔搭在供电端，读数应为无穷大；按下启动按钮，读数应为接触器线圈的直流电阻值，然后断开控制电路再检查主电路有无开路和短路现象；

c．用工具检查线路的绝缘电阻应大于 1MΩ。

⑧ 进行电动机启动前的检查。为了保证设备和人身安全，对于新购入的电动机（或长期未使用）启动前应作以下检查：

a．检查电动机铭牌所示电压、频率与使用的电源是否一致，接法是否正确，电源的容量与电动机的容量及启动方法是否合适；

b．使用的电线规格是否合适，电动机进、出线与线路连接是否牢固，接线有无错误，端子有无松动或脱落；

c．开关的接触器的容量是否合适，触头的接触是否良好；

d．熔断器和热继电器的额定电流与电动机的容量是否匹配，热继电器是否复位；

e．检查轴承是否缺油，油质是否符合标准，加油时应达到规定的油位；

f．检查传动装置，传动带不得过紧或过松，连接要可靠，无裂伤迹象，联轴器螺钉及销子应完整、紧固；

g．检查电动机外壳有无裂纹，接地是否可靠，地脚螺钉、端盖螺栓不得松动；

h．启动器的开关或手柄位置是否正确；

i．检查旋转装置的防护罩等安全措施是否完好；

j．通风系统是否完好；

k．检查电动机的内部有无杂物；

l．电动机绕组相间和绕组对地绝缘是否良好，测量绝缘电阻应符合规定要求。

⑨ 通电试车。在通电试车时，一人监护，一人操作。

通电试车前，必须征得教师同意，并由教师接通三相电源，同时在现场监护；出现故障后，学生应断电进行检查，如需带电检查，教师必须在现场监护。

⑩ 电动机启动后的检查：

a．电动机启动后电流是否正常；

b．电动机的旋转方向有无错误；

c．有无异常振动和响声；

d．有无异味及冒烟现象；

e．电流的大小与负载是否相当，有无过载现象；

f．启动装置的动作是否正常。

⑪ 注意事项：

a．电动机及按钮的金属外壳必须可靠接地。接至电动机的导线必须穿在导线通道内加以保护；

b．电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线座上，出线应接在上接线座上；

c．按钮内接线时不能用力过猛，以防螺钉打滑。

2. 评分标准

项 目 内 容	分　　值	评 分 标 准	扣分 1	得分 1	扣分 2	得分 2
电动机、电气元件检查	10 分	电动机质量未检查扣 5 分 电气元件质量未检查扣 5 分				
安装元件	20 分	不按图安装扣 20 分 元件安装不牢固，每处扣 5 分 元件安装不整齐、不匀称、不合理，每处扣 4 分 损坏元件扣 20 分				
接线质量	30 分	不按原理图接线扣 20 分 错、漏、多接线一处扣 5 分 按钮引出线多一根扣 5 分 按钮开关颜色错误扣 5 分 接点不符合要求，每个点扣 2 分 损伤导线绝缘或线芯，每处扣 4 分 导线使用错误，每根扣 3 分 配线不美观、不整齐、不合理，每处扣 2 分 漏接接地线扣 10 分				

续表

项目内容	分值	评分标准	扣分1	得分1	扣分2	得分2
通电试车	30分	第一次通电试车不成功扣15分 第二次不成功扣30分				
安全、文明生产	10分	违反安全、文明生产扣5～10分				
工时		按照规定时间，每超过10分钟扣5分				
合计	100					
备注	各项扣分不超过该项总分					

习　题　2

1．低压断路器中的电磁脱扣器承担（　　）保护作用。

A．过流　　B．过载　　C．失电压　　D．欠电压

2．设三相异步电动机 $I_N = 10A$，△形连接，用热继电器作过载及缺相保护。热继电器型号可选（　　）型。

A．JR16-20/3D　　B．JR0-20/3　　C．JR10-10/3　　D．JR16-40/3

3．继电保护是由（　　）组成的。

A．二次回路各元件　　B．各种继电器

C．包括各种继电器、仪表回路

4．互感器是根据（　　）原理制造的。

A．能量守恒　　B．能量变化　　C．电磁感应　　D．阻抗变换

5．绕线式异步电动机修理装配后，必须对电刷进行（　　）。

A．更换　　B．研磨　　C．调试　　D．热处理

6．直流电动机的过载保护就是电动机的（　　）。

A．过电压保护　　B．过电流保护

C．超速保护　　D．短路保护

7．在大修后，若将摇臂升降电动机的三相电源相序反接了，则（　　），采取（　　）办法可以解决。

A．电动机不转动　　B．使上升和下降颠倒

C．换三相电源中任意两线　　D．会发生短路

8．万能铣床的操作方法是（　　）。

A．全用按钮　　B．全用手柄

C．既有按钮又有手柄　　D．用行程开关控制

9．异步启动时，同步电动机的励磁绕组不能直接短路，否则（　　）。

A．引起电流太大电动机发热

B．将产生高电热影响人身安全

C．将发生漏电影响人身安全

D．转速无法上升到接近同步转速，不能正常启动

10．刀开关与断路器串联安装使用时，拉闸顺序是（　　）。

A．先断开刀开关后断开断路器　　B．先断开断路器后断开刀开关

C．同时断开断路器和刀开关　　D．无先后顺序要求

11．有填料封闭管式熔断器属于（　　）熔断器。

A．开启式　　B．防护式　　C．封闭式　　D．纤维管式

12．对于频繁启动的异步电动机，应当选用的控制电器是（　　）。

A．铁壳开关　　B．低压断路器

C．接触器　　D．转换开关

13．铁壳开关属于（　　）。

A．短路器　　B．接触器　　C．刀开关　　D．主令开关

14．当负荷电流达到熔断器熔体的额定电流时，熔体将（　　）。

A．立即熔断　　B．长延时后熔断

C．短延时后熔断　　D．不会熔断

15．单投刀开关的型号为（　　）。

A．HD　　B．HS　　C．HR　　D．HK

16．双投刀开关的型号为（　　）。

A．HD　　B．HS　　C．HR　　D．HK

17．下列各电器设备中，不属于开关电器的是（　　）。

A．接触器　　B．启动器　　C．主令电器　　D．继电器

18．单投式刀开关安装时，必须（　　）。

A．电源线接静触头，静触头在上边　　B．电源线接动触头，动触头在上边

C．电源线接静触头，动触头在上边　　D．电源线接动触头，静触头在上边

19．交流接触器线圈电压低于额定电压（　　）时，接触器释放。

A．85%　　B．50%　　C．40%　　D．20%

20．交流接触器在保护特性方面（　　）。

A．具有失压保护功能　　B．具有过载保护功能

C．具有短路保护功能　　D．无保护功能

21．长期带额定负载运行的交流接触器，其额定电流通常选为电动机额定电流的（　　）。

A．1～3 倍　　B．1.1～1.25 倍

C．1.5～2.5 倍　　D．1.3～2 倍

22．保证交流接触器可靠吸合的最低电压值不得小于额定值的（　　）。

A．50%　　B．60%　　C．85%　　D．90%

23．下列各项中，哪一项不是交流接触器噪声过大的原因（　　）。

A．负荷电流过大　　B．反力弹簧张力过大

C．铁芯面有油污　　D．短路环脱落

24．交流接触器在运行当中产生滋火声，其原因可能是（　　）。

A．短路环脱落　　B．常开辅助触点接触不良

C．常闭辅助触点接触不良　　D．主触点接触不实

25．交流接触器控制电动机运行，可以点动而不能持续运行，其原因可能在于（　　）。

A．线圈断线　　B．线圈匝间短路

C．常开辅助触点未闭合　　D．常闭辅助触点未分断

26．控制电源为 380V，若把线圈额定电压 220V 的接触器接在此电路中，其后果可能是

（　　）。

A．烧毁接触器线圈　　B．接触器不能吸合

C．接触器吸合不实　　D．可以正常使用

27．控制电源为220V，若把线圈额定电压380V的接触器接在此电路中，其后果可能是（　　）。

A．烧毁线圈　　B．接触器不能吸合

C．接触器吸合不实振动　　D．可以正常使用

28．反复短时工作制的电动机不适用的启动方式是（　　）。

A．自耦降压启动　　B．Y-△启动；

C．定子串电阻启动　　D．定子串电抗启动

29．采用Y-△启动方式时，Y接时电流为△接时的（　　）倍。

A．$\sqrt{3}$　　B．3　　C．$1/\sqrt{3}$　　D．1/3

30．作为过载保护的热继电器，热元件在其额定电流下运行时（　　）。

A．长期工作不脱扣　　B．20min内脱扣

C．40min内脱扣　　D．60min内脱扣

31．金属导体的电阻与导体的（　　）有关。

A．长度　　B．截面积　　C．电阻率　　D．材料

32．电感在直流电路中相当于（　　）。

A．开路　　B．短路　　C．断路　　D．不存在

33．电压互感器二次短路会使一次（　　）。

A．电压升高　　B．电压降低　　C．熔断器熔断　　D．不变

34．电力系统在运行中发生短路故障时，通常伴随着电压（　　）。

A．大幅度上升　　B．急剧下降　　C．越来越稳定　　D．不受影响

35．在小电流接地系统中，发生金属性接地时接地相的电压（　　）。

A．等于零　　B．等于10kV　　C．升高　　D．不变

36．下列电器设备各型号，不属于开关电器的是（　　）。

A．HR3　　B．DZ10　　C．QC10　　D．FR9

37．下列各型号刀开关中，不能带负荷通断电路的是（　　）。

A．HD　　B．HR3　　C．HH　　D．HK

38．俗称刀熔开关的型号为（　　）。

A．HK系列　　B．HH系列　　C．HR系列　　D．HD系列

39．俗称胶盖闸的刀开关型号为（　　）。

A．HK系列　　B．HH系列　　C．HR系列　　D．HS系列

40．俗称铁壳开关的型号为（　　）。

A．HD系列　　B．HS系列　　C．HR系列　　D．HH系列

41．真空断路器灭弧室的玻璃外壳起（　　）作用。

A．真空密封　　B．绝缘　　C．真空密封和绝缘双重

42．变压器的基本工作原理是（　　）。

A．电磁感应　　B．电流的磁效应

C．能量平衡　　D．电流的热效应

43．断路器合闸回路熔断器的熔丝熔断，电流应为合闸电流的（　　）。

A．10%～20%　　B．25%～30%　　C．30%～50%

44．当电感电流小于接地电容电流时，电网以（　　）方式运行。

A．欠补偿　　B．过补偿　　C．全补偿

45．电流互感器正常工作中，当一次侧电流增加时，互感器的工作磁通（　　）。

A．增加　　B．基本不变　　C．减小

46．为了促进电弧熄灭，一方面需要减少游离；一方面应加强（　　）。

A．复合　　B．扩散　　C．游离　　D．去游离

47．空气断路器熄弧能力较强，电流过零后，不易产生重燃，但易产生（　　）。

A．过电流　　B．电磁振荡　　C．过电压

48．一般三相电源，通常都连成（　　）。

A．三角形或星形　　B．V 型　　C．Z 型

49．电压互感器的一次侧装保险（熔断器）是用来（　　）。

A．防止电压互感器二次过负荷的影响　　B．防止电压互感器烧毁

C．防止高压电网受电压互感器本身或其引线上故障的影响

50．DW 型自动开关合闸时，主触头、副触头、弧触头闭合的顺序从先到后为（　　）。

A．主触头、副触头、弧触头　　B．主触头、弧触头、副触头

C．弧触头、主触头、副触头　　D．弧触头、副触头、主触头

51．热继电器可作为电动机的（　　）保护。

A．常规　　B．短路　　C．过载　　D．超温

52．接触器在投运前用 500V 兆欧表检查相间绝缘电阻，一般不小于（　　）MB。

A．0.5　　B．2　　C．5　　D．10

53．CJ20 接触器主触点采用多元银合金材料，其电寿命不小于（　　）万次。

A．50　　B．80　　C．120　　D．150

54．热继电器中的触头开始通过 1.2 倍整定电流的动作时间为（　　）min 以内。

A．5　　B．10　　C．15　　D．20

55．输电线路发生相间短路时，线路中的电流突然（　　），母线电压突然（　　）。

A．下降；增大　　B．增大；下降　　C．不变；不变　　D．增大；不变

56．电压互感器二次侧不能（　　）电流互感器二次侧不能（　　）。

A．短路；开路　　B．开路；短路　　C．短路；短路　　D．开路；开路

57．常用的电流互感器二次额定电流为（　　）A。

A．1　　B．2　　C．3　　D．5

58．常用的电压互感器二次线间电压一般为（　　）V。

A．50　　B．100　　C．36　　D．220

59．为了保证在操作电源电压降低时继电器仍能可靠地动作，中间继电器的可靠动作电压不应大于额定电压的（　　）。

A．50%　　B．60%　　C．70%　　D．80%

60．实际运行条件下，保护装置所用的电流互感器的电流误差不允许超过（　　）。

A．5%　　B．10%　　C．15%　　D．20%

项目 3 CW6140 车床电气控制线路装调

3.1 学习任务及要求

1. 控制对象说明

① M_1 为主轴电动机，带动主轴旋转和刀架作进给运动。
② M_2 为冷却泵电动机，拖动冷却泵，实现刀具的冷却。

2. 控制功能要求

① 主轴电动机 M_1 采用 Y-△降压启动。
② 主轴电动机 M_1 采用电气正、反转控制。
③ 冷却泵电动机 M_2 采用直接启动，单向旋转。
④ 具有完善的保护环节。

3. 工期要求

在 30 个学时之内完成整个项目。

4. 现有条件

（1）电气技术培训车间。
（2）电动机及所需低压电器。
（3）电工工具。
（4）万用表。
（5）普通车床。

5. 应提交的技术文档

（1）设计方案说明。
（2）原理图。
（3）元件清单。
（4）布置图。
（5）安装接线图。
（6）调试记录。
（7）个人设计总结。

3.2 知识链接

3.2.1 电气绘图与识图

常用的电气图包括电气原理图、电气元件布置图、电气接线图，这三种图相互依存、相互联系，又各有不同用途。电气原理图用图形符号、文字符号、项目代号等，表示电路中各个电气元件之间的连接关系和工作原理；电气元件布置图表明电气设备上所有电气元件的实际安装位置；电气接线图主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理，为安装电气设备和电气元件进行配线或检修电气故障服务。电气原理图和电气元件布置图是绘制电气接线图的依据，电气接线图便于设备的接线与调试；查找故障时，通常由电气原理图分析电路原理、判断故障，由电气接线图确定故障部位。

1. 常用电气图符号

电气图也称电气控制系统图，必须根据国家标准，使用统一的文字符号、图形符号及绘制方法，以便于设计人员的绘制与现场技术人员、维修人员的识读。

1）文字符号

文字符号用于电气技术领域中技术文件的编制，也可以标注在电气设备、装置和元器件上或近旁，以表示电气设备、装置和元器件的名称、功能、状态和特性。文字符号分为基本文字符号和辅助文字符号。

（1）基本文字符号

基本文字符号用以表示电气设备、装置、元器件及线路的基本名称和特性，它可分为单字母符号和双字母符号两种。

① 单字母符号。按拉丁字母顺序将各种电气设备、装置和元器件划分为23大类，每一类用一个专用单字母符号表示，如“C”表示电容器类，“Q”表示电力电路的开关器件等。

② 双字母符号。由一个表示种类的单字母符号与另一个字母组成，且以单字母符号在前，另一个字母在后的次序排列，如“F”表示保护器件类，“FU”表示熔断器，“FR”表示热继电器。

（2）辅助文字符号

辅助文字符号用来表示电气设备、装置和元器件及电路的功能、状态和特征，通常也是由英文单词的前一两个字母构成，如“L”表示限制，“RD”表示红色等。辅助文字符号也可以放在表示种类的单字母符号之后组成双字母符号，如“SP”表示压力传感器等。辅助字母还可以单独使用，如“ON”表示接通，“M”表示中间线，“PE”表示保护接地等。

（3）特殊用途文字符号

在电气图中，一些特殊用途的接线端子、导线等通常采用一些专用的文字符号。

2）常用电气符号

图形符号是表示设备或概念的图形、标记或字符等的总称。它通常用于图样或其他文件，是构成电气图的基本单元。国家规定从1990年1月1日起，电气图中的文字符号和图形符号必须符合最新国家标准。表5-1给出了部分常用电气图形符号和文字符号。若需更详细的资

料，请查阅最新国家标准。

提示：图形符号电工技术文件中的“象形文字”，是电气工程“语言”的“词汇”和“单词”，正确、熟练地掌握绘制和识别各种电气图形符号是识读电气图的基本功。

（1）图形符号的概念

图形符号一般由符号要素、基本符号、一般符号和限定符号 4 部分组成。

① 符号要素。符号要素是一种具有确定含义的简单图形，表示元件的轮廓或外表。它必须和其他图形符号一起构成完整的符号。

② 基本符号。基本符号是用来说明电路的某些特征，而不代表单独的电器或元件。

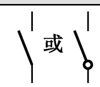
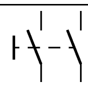
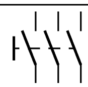
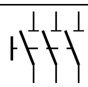
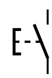
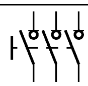
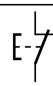
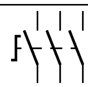
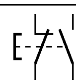
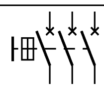
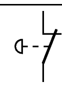
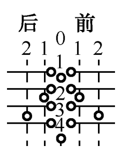
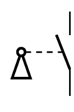
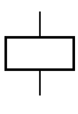
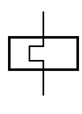
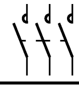
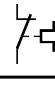
③ 一般符号。一般符号是表示一类产品或此类产品特征的简单图形。

④ 限定符号。限定符号是用来提供附加信息的一种加在其他图形符号上的符号，可以表示电量的种类、可变性、力和运动的方向、流动方向等。限定符号一般不能单独使用。

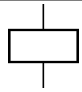
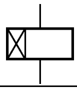
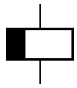
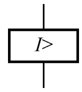
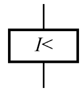
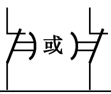
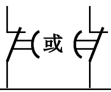
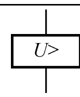
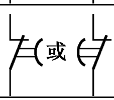
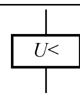
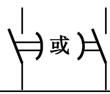
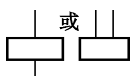
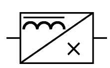
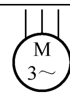
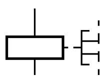
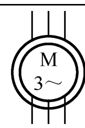
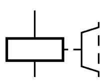
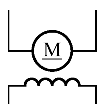
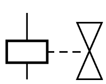
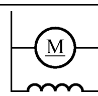
（2）部分常用元件图形符号、文字符号

部分常用元件图形符号、文字符号如表 3-1 所示。

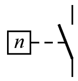
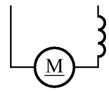
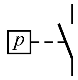
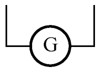
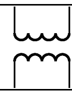
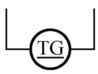
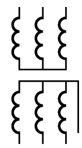
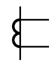
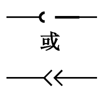
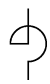
表 3-1 常用元件图形符号、文字符号

类别	名称	图形符号	文字符号	类别	名称	图形符号	文字符号
开关	单极控制开关		SA	位置开关	常开触头		SQ
	手动开关一般符号		SA		常闭触头		SQ
	三极控制开关		QS		复合触头		SQ
	三极隔离开关		QS	按钮	常开按钮		SB
	三极负荷开关		QS		常闭按钮		SB
	组合旋钮开关		QS		复合按钮		SB
	低压断路器		QF		急停按钮		SB
	控制器或操作开关		SA		钥匙操作式按钮		SB
接触器	线圈操作器件		KM	热继电器	热元件		FR
	常开主触头		KM		常闭触头		FR

续表

类别	名称	图形符号	文字符号	类别	名称	图形符号	文字符号
接触器	常开辅助触头		KM	中间继电器	线圈		KA
	常闭辅助触头		KM		常开触头		KA
时间继电器	通电延时（缓吸）线圈		KT		常闭触头		KA
	断电延时（缓放）线圈		KT	电流继电器	过电流线圈		KA
	瞬时闭合的常开触头		KT		欠电流线圈		KA
	瞬时断开的常闭触头		KT		常开触头		KA
	延时闭合的常开触头		KT		常闭触头		KA
	延时断开的常闭触头		KT	电压继电器	过电压线圈		KV
	延时闭合的常闭触头		KT		欠电压线圈		KV
	延时断开的常开触头		KT		常开触头		KV
电磁操作器	电磁铁的一般符号		YA		常闭触头		KV
	电磁吸盘		YH	电动机	三相笼型异步电动机		M
	电磁离合器		YC		三相绕线转子异步电动机		M
	电磁制动器		YB		他励直流电动机		M
	电磁阀		YV		并励直流电动机		M

续表

类别	名称	图形符号	文字符号	类别	名称	图形符号	文字符号
非电量控制的继电器	速度继电器常开触头		KS	电动机	串励直流电动机		M
	压力继电器常开触头		KP	熔断器	熔断器		FU
发电机	发电机		G	变压器	单相变压器		TC
	直流测速发电机		TG		三相变压器		TM
灯	信号灯（指示灯）		HL	互感器	电压互感器		TV
	照明灯		EL		电流互感器		TA
接插器	插头和插座		X 插头 XP 插座 XS		电抗器		L

（3）运用图形符号绘制电气图的注意事项

① 符号尺寸大小、线条粗细依国家标准可放大或缩小，但在同一张图样中，同一符号的尺寸应保持一致，各符号之间及符号本身比例应保持不变。

② 标准中标示出的符号方位，在不改变符号含义的前提下，可根据图面布置的需要旋转，或成镜像位置，但是文字和指示方向不得倒置。

③ 大多数符号都可以附加补充说明标记。

④ 对标准中没有规定的符号，可选取 GB4728《电气图常用图形符号》中给定的符号要素、一般符号和限定符号，按其中规定的原则进行组合。

提示：标准符号可以旋转，或成镜像位置，但不得改变其文字和指示方向。

2. 电气原理图绘图与识图

常用电气图纸尺寸一般选用 297mm×210mm、297mm×420mm、297mm×630mm、297mm ×840mm 4 种幅面，特殊需要可按 GB 126—74《机械制图》国家标准选用其他尺寸。

1）电气原理图的绘制

用图形符号、文字符号、项目代号等，表示电路各个电气元件之间的连接关系和工作原理的图称为电气原理图，简称原理图。原理图结构简单、层次分明，适用于研究和分析电路工作原理，并为寻找故障提供帮助，同时也是编制电气接线图的依据，因此在设计部门和生产现场得到广泛应用。

（1）电气原理图绘制原则

电气原理图是为了便于阅读和分析控制线路工作原理而绘制的，其主要形式是把一个电气元件的各部件以分开的形式进行绘制。其绘制原则、绘制方法及有关事项如下：

① 所有电路元件的图形符号，均按电器未接通电源或没有受外力作用或非激励时的零状态（常态、自然状态）绘制。

提示：零状态就是没有通电或没有受外力的状态。

- 继电器和接触器的线圈在非激励状态。
- 断路器和隔离开关在断开位置。
- 零位操作的手动控制开关在零位状态，不带零位的手动控制开关在图中规定的位置。
- 机械操作开关和按钮在非工作状态或不受力状态。
- 保护类元器件处在设备正常工作状态等。

② 主电路用粗实线，控制电路和辅助、信号、指示及保护电路用细实线。

③ 水平布置时，电源线垂直画，其他电路水平画，控制电路中的耗能元件（如接触器的线圈）画在电路的最右端。

垂直布置时，电源线水平画，其他电路垂直画，控制电路的耗能元件画在电路的最下端。

④ 采用电气元件展开画法。同一电器的各个部件可画在不同的地方，但必须采用相同的文字符号进行标注。同一种类的多个电气元件，可在文字符号后加上数字序号加以区分，如 KM_1、KM_2、KM_3 等。

⑤ 触点的绘制。使触点动作的外力方向必须是当图形垂直绘制时，垂线左侧的触点为常开触点，垂线右侧的触点为常闭触点；当图形水平绘制时，水平线上方的触点为常开触点，水平线下方的触点为常闭触点。即左开右闭，上开下闭。

⑥ 主电路、控制电路和辅助电路分开绘制。主电路是从电源到电动机的强电流部分，用粗线条绘制在原理图左边。控制电路是弱电流部分，一般由按钮、接触器和继电器线圈、各种电器的触点组成的逻辑电路，用细线画在原理图右边。辅助电路包括信号、照明及保护电路。

⑦ 控制电路的分支电路原则上按照动作的先后顺序排列，自左而右或自上而下表示操作顺序，并尽可能减少线条和避免线条交叉。

⑧ 电气直接联系的交叉导线的连接点（即导线交叉处）要用黑圆点表示。无直接电气联系的交叉导线，交叉处不能画黑圆点。

⑨ 原理图上应标明：各电源的电压值、极性或频率和相数；某些元件、器件的特性；不常用的电器的操作方式和功能。

⑩ 在原理图的上方将图分成若干图区，并标明该区电路的用途与作用；在继电器、接触器线圈下方有触点表，以说明线圈和触点的从属关系。

（2）接线端子标记

为了便于分析及绘制接线图，原理图中各元件接线端子用字母、数字和符号标记。

① 电源引入线。一般三相交流电源引入线用 L_1、L_2、L_3、N 标记，接地线用 PE 标记；直流系统的电源正、负极分别用 L+、L−或“+”、“−”标记。

② 电动机。电动机用 U、V、W 标记。有多台电动机时，M_1 电动机用 U_1、V_1、W_1；M_2 电动机绕组用 U_2、V_2、W_2 标记，以此类推。

③ 主电路。三相交流电动机所在的主电路用 U 、V、W 标注，凡是被器件、触点间隔的接线端子按双下标数字顺序标注，第一个数字表示电动机的编号，第二个数字表示在该电

动机回路中的顺序。例如，M_1 电动机所在的主电路，用 U_{11}、V_{11}、W_{11}；U_{12}、V_{12}、W_{12}；M_2 电动机所在的主电路，用 U_{21}、V_{21}、W_{21}；U_{22}、V_{22}、W_{22}，以此类推。

④ 控制电路和辅助电路。控制电路采用阿拉伯数字编号。标注方法按“等电位”原则进行，在垂直绘制的电路中，标号顺序一般按自上而下、从左至右的规律编号。凡是被线圈、触点等元件所间隔的接线端点，都应标以不同的线号。“等电位”点用同一线号。

现场实际应用中，有时为了便于区分，辅助电路也可采用双数字下标，视具体情况而定。

（3）线圈触点标注

在电气原理图中，接触器、继电器的线圈与触点的从属关系应当用附图表示。即在原理图中相应线圈的下方，给出触点的图形符号，并在其下面注明相应触点的索引代号，未使用的触点用“X”表示。有时也可采用省去触点图的表示法。

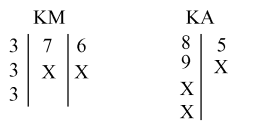


图 3-1 线圈与触点位置索引

如图 3-1 所示中，在接触器 KM 触点的位置索引中，左栏为主触点所在的图区号（有三对主触点在图区 3），中栏为辅助常开触点所在的图区号（一对常开触点在图区 7，另一对没有使用），右栏为辅助常闭触点所在的图区号（一对常闭触点在图区 6，另一对没有使用）。在中间继电器 KA 触点的位置索引中，左栏为常开触点所在的图区号（一对触点在图区 8，另一对触点在图区 9），右栏为常闭触点所在的图区号（一对在图区 5，一对未用）。

提示：线圈与触点位置索引图如分析电气原理图的地图，依据线圈与触点位置索引，可以很快地找出图中元件间的关系。

（4）电气原理图绘制示例

图 3-2 是根据上述原则绘制出的 CW6132 型普通车床电气原理图。

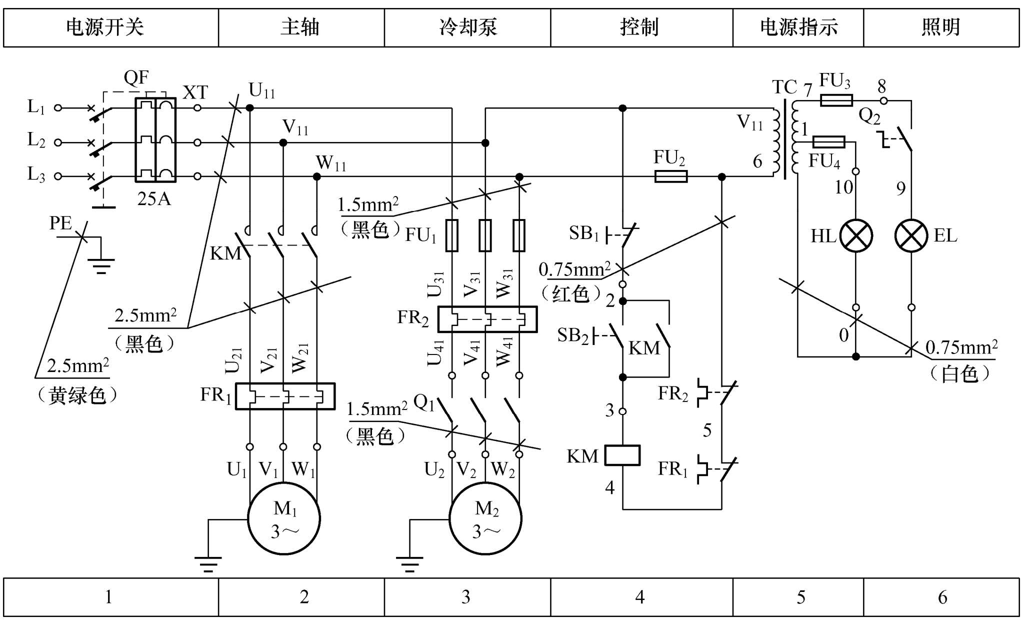


图 3-2 CW6132 型普通车床电气原理图

2）电气原理图的识读

识读电气原理图的基本方法可以总结为“先机后电、先主后辅、化整为零、集零为整、

统观全局、总结特点”。识读电气原理图的具体方法和步骤如下所述。

（1）先机后电

首先阅读生产机械设备的有关资料，即设备基本结构、运动情况、工艺要求、流程和操作方法等。总体了解生产机械的结构及其运行后，进而明确生产工艺过程对电气控制的基本要求，为分析电路做好前期准备。

（2）先主后辅

① 阅读主电路：首先应该了解主电路有哪些用电设备（如电动机、电炉等），以及这些设备的用途和工作特点。并根据工艺过程，了解各用电设备之间的相互联系、采用的保护方式等。阅读主电路的具体步骤如下：

- 认清主电路用电设备。用电设备指消耗电能的用电器具或电气设备，如电动机、电弧炉、电阻炉等。识图时，首先要分析清楚有几个用电设备及它们的类别、用途、接线方式及其他特殊要求等。以电动机为例，从类别上讲，有交流电动机和直流电动机之分；而交流电动机又有异步电动机和同步电动机；异步电动机又分鼠笼式电动机和绕线式电动机，等等。
- 分析用电设备的控制电器。控制电气设备的方法有很多，有的直接用开关控制，有的用各种启动器控制，有的用接触器或继电器控制等。
- 了解主电路中其他元器件的作用。通常主电路中除了用电器和控制用的电器（如接触器、继电器触点）外，还常用到电源开关、熔断器及保护电器等。
- 分析电源。分析主电路电源是三相 380V 还是单相 220V，主电路电源是由母线汇流排供电或配电屏供电（一般为交流电），还是由发电机供电（一般为直流电）。

② 分析控制电路：在完全了解主电路的工作特点后，就可以根据这些特点去阅读控制电路。可根据主电路中各电动机和执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节，将控制电路“化整为零”，按功能不同划分成若干个局部控制电路来进行分析。如果控制电路较复杂，则可先排除照明、指示等与控制关系不密切的电路，以便集中精力分析控制电路。控制电路一定要分析透彻。分析控制电路的最基本的方法是“查线读图”法。

- 分析电源：了解控制电路电源的种类，是交流还是直流。电源从什么地方接来，其电压等级为多少。控制电路电源一般是从主电路的两条相线引来，其电压为 380V；也有从主电路的一条相线和中性线上接来，电压为 220V；此外，也可以从专用隔离电源变压器接来，这种电源常用电压等级有 127V、36V 等。当辅助电路为直流时，其电压一般为 24V、12V、6V 等。
- 分析辅助电路对主电路的控制：对复杂的辅助电路，在电路图中，整个辅助电路构成一条大回路。大回路中又分成几条独立的小回路，每条小回路控制一个用电器或一个动作。当某条小回路形成闭合回路有电流流过时，在回路中的电气元件（接触器或继电器）则动作，把用电设备（如电动机）接入电源或从电源切除。
- 研究电气元件之间的相互关系：电路中一切电气元件都不是孤立的，而是互相联系的，互相制约的。在电路中用电气元件 A 控制 B，又用 B 去控制 C。这种互相制约的关系有时表现在同一个回路中，有时表现在不同的几个回路中，这就是控制电路中的电气联锁。

③ 阅读照明、信号指示、监测、保护等各辅助电路环节。

（3）化整为零

在分析电气控制电路时，根据主电路中各电动机、电磁阀等执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节，将电动机控制电路，按功能不同划分成若干个局部控制电路来进行分析，“化整为零”。其步骤为：

① 从执行电器（电动机等）着手，了解主电路上有哪些控制电器的触点，根据其组合规律分析控制方式。

② 根据主电路的控制电器主触点文字符号，在控制电路中找到有关的控制环节及环节间的相互联系，将各电动机的控制电路划分成若干局部电路，每一台电动机的控制电路，又按启动环节、制动环节、调速环节、正反向运行环节来分析。

③ 假设按动了某操作按钮（应了解各信号元件、控制元件或执行元件的原始状态），查对电路，观察电气元件的触点是如何控制其他电气元件动作的，再查看这些被带动的控制电气元件的触点又是如何控制执行电器或其他电气元件动作的，并随时注意控制电气元件的触点使执行电器有何运动，进而驱动被控机械如何运动，还要注意执行元件带动机械运动时，会使哪些信号元件状态发生变化。

（4）集零为整

最后总体检查，经过化整为零，初步分析了每一个局部电路的工作原理及各部分之间的控制关系后，还必须“集零为整”、统观全局、总结特点，检查整个控制电路，看是否有遗漏。特别要从整体角度去进一步检查和理解各控制环节之间的联系，理解电路中每个电气元件的作用，分析各局部电路之间的联锁关系，机、电、液间的配合情况。在读图过程中，特别要注意控制元件相互间的联锁与自锁关系。

提示：当看到一个较复杂的“大图”时，不必心慌，静下心来，按读图步骤一步步化整为零，再集零为整，你会发现理解和掌握整个原理图是顺理成章、水到渠成的事。

上面所介绍的读图方法和步骤，只是一般的通用方法，需通过对具体电路的分析逐步掌握，不断总结，才能提高识图能力。

（5）电气原理图识读示例

如图 3-3 所示为 C620-1 型普通车床的电气原理图，分析该线路的组成和各部分的功能。

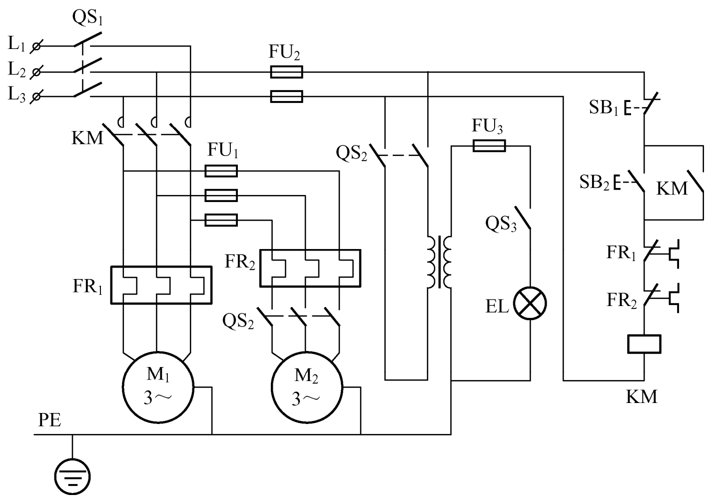


图 3-3　C620-1 型普通车床电气原理图

C620-1 型车床是常用的普通车床之一，M_1 为主轴电动机，拖动主轴旋转，并通过进给机构实现车床的进给运动。M_2 为冷却泵电动机，拖动冷却泵在车削工件时输送冷却液。电路分为主电路、控制电路、照明电路三大部分。

① 主电路。

- 电源，由转换开关 QS_1 引入。
- M_1 电动机。M_1 为小于 10kW 的小容量电动机，所以采用直接启动。由于 M_1 的正、反转由摩擦离合器改变传动链来实现，操作人员只需扳动正、反转手柄，即可完成主轴电动机的正、反转，因此，在电路中仅通过接触器 KM 的主触点控制启动、停止。
- M_2 冷却泵电动机。M_2 容量更小，大约只有 0.125kW，因此可由转换开关 QS_2 直接操纵，实现启动、停止。这样既经济，又操作方便。但是 M_2 的电源由接触器 KM 的主触点控制，所以必须在 M_1 启动后方可启动，具有顺序联锁关系。

② 控制电路。

- 组成。由启动按钮 SB_2、停止按钮 SB_1、热继电器 FR_1、FR_2 的常闭触点和接触器 KM 的线圈组成，完成电动机的单向启停控制。
- M_1 启动。闭合电源开关 QS_1→按下启动按钮 SB_2→接触器 KM 的吸引线圈通电→KM 主触点和自锁触点闭合→M_1 主轴电动机启动并运行。
- M_1 停止。按下停止按钮 SB_1 即可。

③ 照明和保护环节。

- 照明。由变压器副绕组供给 36V 安全电压，经照明开关 QS_3 控制照明灯 EL。照明灯的一端接地，以防止变压器原、副绕组间发生短路时可能造成的触电事故。
- 保护。

过载保护：由热继电器 FR_1、FR_2 实现 M_1 和 M_2 两台电动机的长期过载保护。

短路保护：由 FU_1、FU_2、FU_3 实现对冷却泵电动机、控制电路及照明电路的短路保护。由于进入车床电气控制线路之前，配电开关内已装有熔断器做短路保护，所以，主轴电动机未另加熔断器作短路保护。

欠压与零压保护：当外加电源过低或突然失压，由接触器 KM 实现欠压与零压保护。

3.2.2　三相笼型异步电动机定子绕组串电阻降压启动

三相笼型异步电动机采用全压启动，控制电路简单，但当电动机容量较大，不允许采用全压直接启动时，应采用降压启动。

所谓降压启动是利用启动设备将电压适当降低后加到电动机的定子绕组上进行启动，待电动机启动运转后，再使电压恢复到额定值正常运行。

降压启动适用于空载或轻载下启动。

三相笼型异步电动机常用的降压启动方法有：定子绕组串电阻或电抗器降压启动、Y-△降压启动、自耦变压器降压启动、延边三角形降压启动等。

电动机启动时在定子绕组中串接电阻，使定子绕组的电压降低，限制了启动电流。在电动机转速接近额定转速时，再将串接电阻短接，使电动机在额定电压下正常运转。

定子绕组串电阻或电抗器降压启动工作原理图如图 3-4 所示。

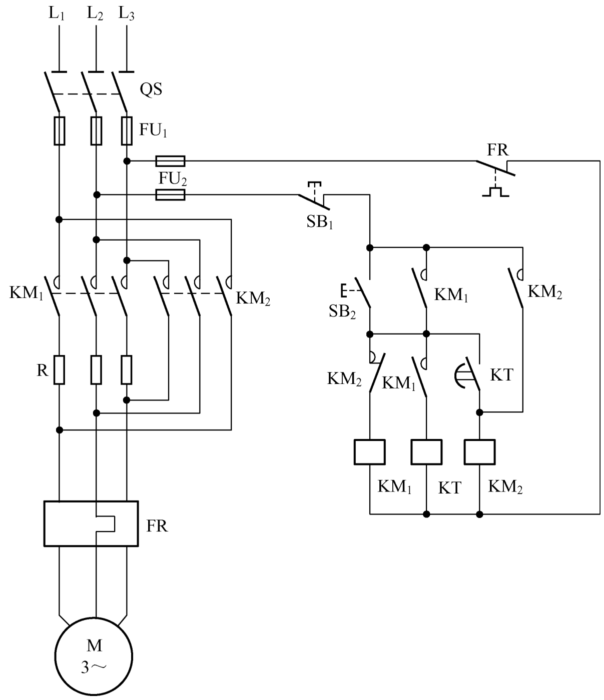


图 3-4　定子绕组串电阻或电抗器降压启动工作原理图

线路工作原理如下：

按下SB_2 → KM_1线圈得电 →
- → KM_1自锁触头闭合
- → KM_1主触头闭合 → 电动机串联电阻R生启动
- → KM_1常开触头闭合 → KT线圈得电 —延时→ KM_2线圈得电 →
  - → KM_2自锁触头闭合
  - → KM_2主触头闭合（短接电阻R）→ 电动机M全压运行
  - → KM_2常闭触头断开 → KM_1，KT线圈断电释放

3.2.3　Y-△降压启动

对于正常运行时定子绕组接成三角形的三相笼形电动机，可采用 Y-△降压启动方法达到限制启动电流的目的。

在启动时，先将电动机的定子绕组接成星形，使电动机每相绕组承受的电压为电源的相电压；当转速上升到接近额定转速时，再将定子绕组的接线方式改接成三角形，电动机进入全电压正常运行状态。

线路工作原理如下：

按下SB_2 → KM_1线圈得电 →
- → KM_1自锁触头闭合；
- → KM_Y线圈得电，主触头闭合 → 电动机M星形启动
- → KM_1主触头闭合 ↗
- → KT线圈得电 —延时→
  - → KM_Y线圈得电
  - → $KM_{\triangle}$线圈得电
  - → KM_1线圈仍得电
  - → 电动机M接成三角形运行

Y-△降压启动工作原理图如图 3-5 所示。

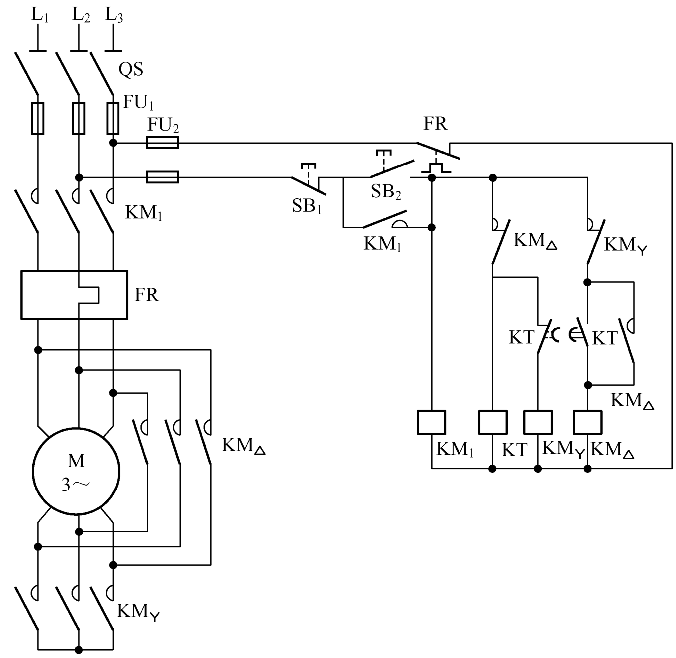


图 3-5　Y-△降压启动工作原理图

3.2.4　自耦变压器降压启动

自耦变压器降压启动工作原理图如图 3-6 所示。

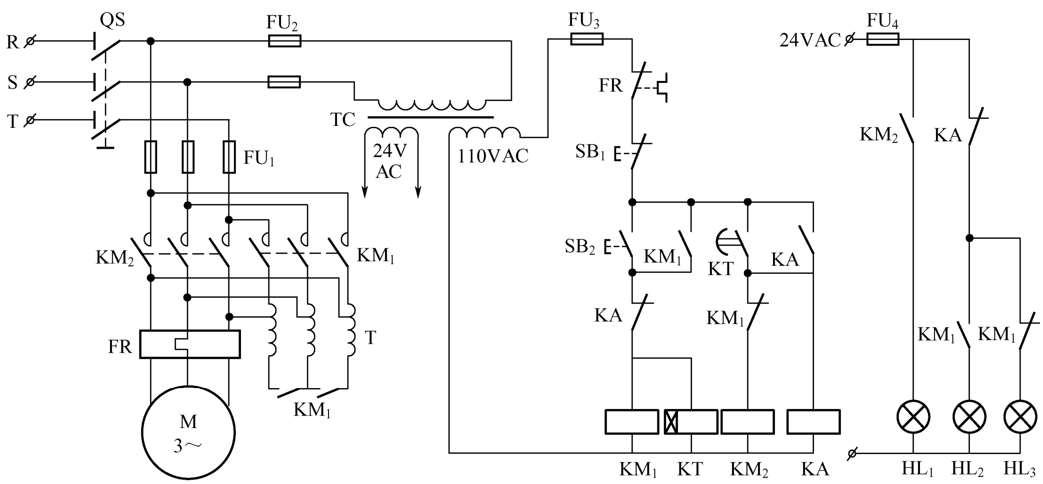


图 3-6　自耦变压器降压启动工作原理图

降压原理：启动时电动机定子绕组接自耦变压器的次级，运行时电动机定子绕组接三相交流电源，并将自耦变压器从电网切除。

主电路：启动时，KM_1 主触点闭合，自耦变压器投入启动；运行时，KM_2 主触点闭合，电动机接三相交流电源，KM1 主触点断开，自耦变压器被切除。

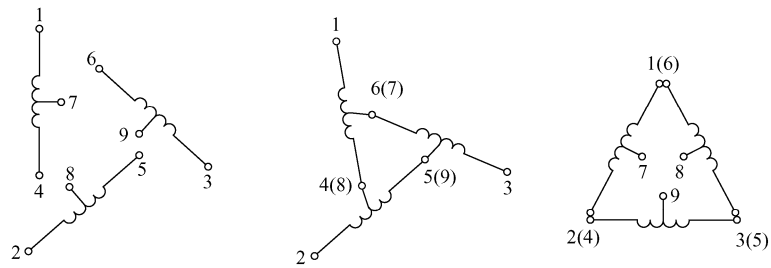
控制电路：启动过程分析。

按下SB_2 → KM_1线圈通电自锁 → 电动机M自耦补偿起动
→ KT线圈通电延时 → KA线圈通电自锁 → KM_1、KT线圈断电 → KM_2线圈通电
→ 电动机M全压运行

3.2.5 延边三角形降压启动

1. 延边绕组

延边绕组示意图如图 3-7 所示。



（a）原始状态　（b）启动时　（c）正常运转

图 3-7　延边绕组示意图

说明：绕组连接 67、48、59 构成延边三角形接法，绕组连接 16、24、35 为△接法。

2. 延边三角形降压启动

延边三角形降压启动控制电路如图 3-8 所示。

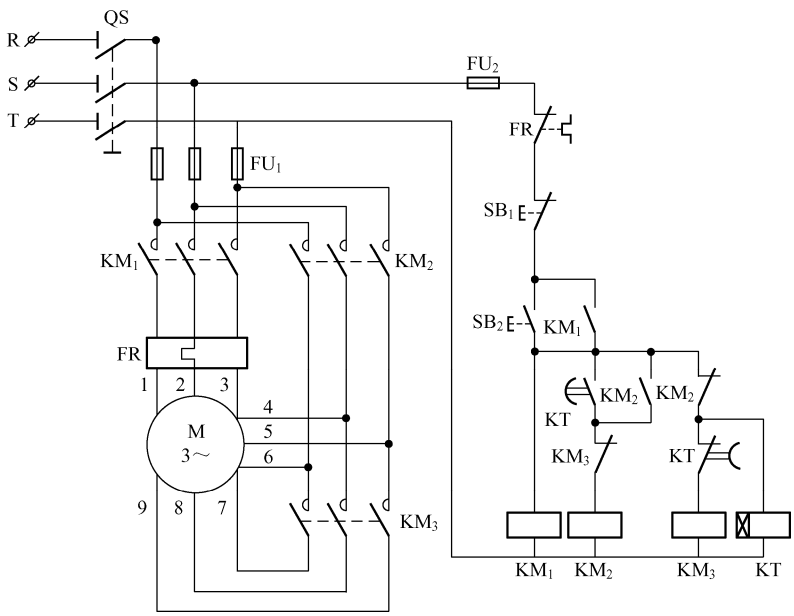


图 3-8　延边三角形降压启动控制电路

主电路分析：

KM_1、KM_3 使接点 1、2、3 接三相电源，67、48、59 对应端接在一起构成延边三角形接法，用于降压启动。

KM_1、KM_2 使接点 16、24、35 接在一起构成△连接，用于全压运行。

控制电路请自行分析。

3.2.6　三相异步电动机电气制动控制

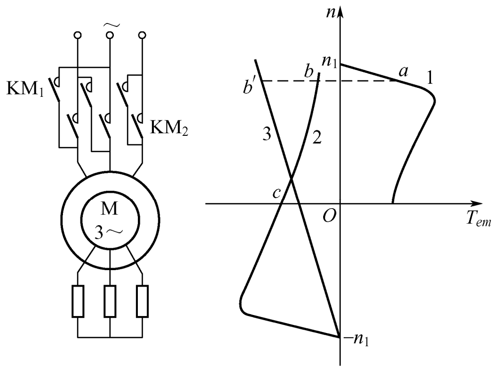
电气制动多用于电动机的快速停车。常用方法有能耗制动和反接制动。

1. 反接制动

反接制动分电源反接制动与倒拉反接制动两种。

（1）电源反接制动

电源反接方法：电源反接是通过改变运行中的电动机的相序实现的，即将定子绕组的任意两相对调。如图 3-9 所示，设三相异步电动机正向运转，将正向开关 KM_1 断开，接通 KM_2，由于改变了相序，旋转磁场的方向与转子旋转方向相反，所以电动机进入反接制动运行状态。



（a）　（b）

图 3-9　三相异步电动机电源反接制动

由于在反接制动中，旋转磁场与转子的相对速度 n_1+n 很高，感应电势很大，转子电流也很大。为了限制电流，常在转子回路串入比较大的电阻。

电源反接制动的优点是制动迅速，但不经济，电能消耗大，有时还会出现反转，所以必须与机械抱闸配合。

制动过程中的能量关系：定子三相交流电源供电，电动机本身将动能发电，消耗在转子回路的电阻中，以热的形式散发。

（2）倒拉反接制动

如图 3-10 所示为绕线转子感应电动机转子串电阻的人为机械特性，如果负载为一位能性负载，负载转矩为 T_z，则电动机将稳定工作在特性的 c 点。此时电磁转矩方向与电动工作状态时相同，而转向与电动工作状态时相反，电动机处于制动工作状态，

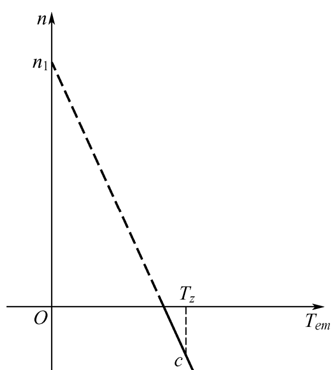


图 3-10　绕线转子感应电动机转子串电阻的人为机械特性

这时转差率，$s=\frac{n_1-(-n)}{n_1}=\frac{n_1+n}{n_1}>1$，所以也属于反接制动。

倒拉反接制动时的机械特性就是电动机工作状态时的机械特性在第四象限的延长部分。

不论是两相反接制动还是倒拉反接制动，电网仍继续向电网输送功率，同时还输入机械功率（倒拉反接制动是位能负载做功，两相反接时则是转子的动能做功），这两部分功率都消耗在转子电阻上，所以反接制动时能量损耗是很大的。

（3）电源反接制动控制线路原理分析

电源反接制动实质是改变异步电动机定子绕组中的三相电源相序，产生与转子转动方向相反的转矩，迫使电动机迅速停转。

如图 3-11 所示线路工作原理如下：

（1）启动过程

按下启动按钮SB_2→KM_1线圈得电→
- KM_1自锁触头闭合
- KM_1互锁触头断开
- KM_1主触头闭合→电动机M正转运行，KR常开触点闭合

（2）制动停车过程

按下停车按钮SB_1→
- KM_1线圈得电→KM_1主触头释放→电动机M断电
- KM_1线圈得电→
  - KM_2自锁触头闭合
  - KM_2互锁触头断开
  - KM_2主触头闭合，串入电阻R反接制动

  当电动机转速$n\approx0$时，KR复位→KM_2断电，制动结束

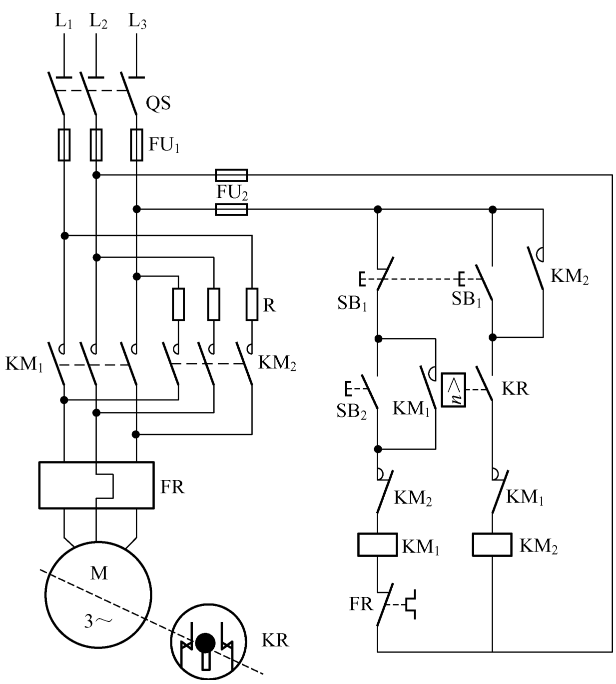


图 3-11　反接制动原理图

2. 能耗制动

将运行的三相异步电动机定子绕组断开，接入直流电源，串入适当转子电阻，这时的电动机处于能耗制动运行状态，如图 3-12 所示。

断开定子三相交流电源，定子旋转磁场消失。当定子输入直流电时，在电动机中产生恒磁场，由于转子在动能作用下转动，切割恒定磁场，产生转子感应电势，从而产生感生电流（可由右手定则判断）；转子电流与磁场的作用产生电磁转矩与转速方向相反（可由左手定则判断）。其特性曲线如图 3-13 所示。

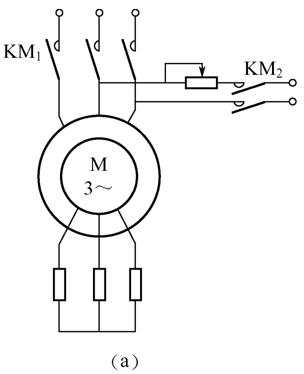


图 3-12　三相异步电动机能耗制动

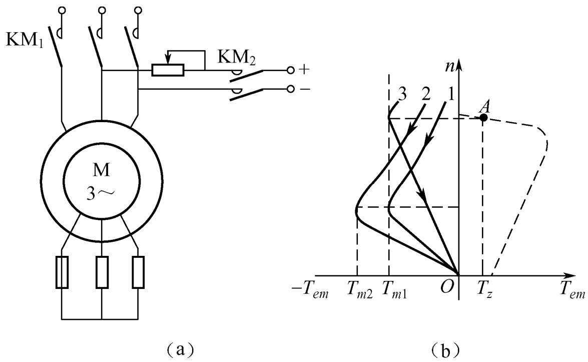


图 3-13　能耗制动特性

三相异步电动机在能耗制动过程中，利用转子的动能进行发电，在转子电阻中以热的形式消耗掉。

能耗过程中，由于定子磁场固定，转子转速为 n，所以转差 $\Delta n = n$，转差率 $s = \dfrac{\Delta n}{n_1} = \dfrac{n}{n_1}$，转子感应电势频率 $f_2 = \dfrac{pn}{60} = \dfrac{psn_1}{60} = sf_1$。

定子直流励磁电流越大→磁场越强→感应电势越大→转子电流越大→制动电磁转矩越大→制动效果越好。但电流过大会使绕组过热。根据经验，对于鼠笼式异步电动机取直流励磁电流为（4～5）I_0，对绕线式异步电动机取（2～3）I_0。能耗制动的优点是制动力矩较大，制动平稳，主要用于快速平稳停车。

制动时，在切除交流电源的同时，给三相定子绕组通入直流电流。

如图 3-14 所示线路工作过程如下：

（1）启动过程

按下启动按钮 SB_1 → KM_1 线圈得电并自锁 —
- → KM_1 常闭辅助触头断开联锁
- → KM_1 主触头闭合 → 电动机M启动运行

（2）制动停车过程

按下停车按钮 SB_2 —
- → KM_1 线圈断电 —
  - → KM_1 主触头断开 → 电动机M断电，惯性运转
  - → KM_2 线圈得电 → KM_2 主触头闭合 → 电动机能耗制动
- → KT线圈得电 → KT常闭触头延时断开 → KM_2 线圈断电 → KM_2 主触头断开，切断电动机直流电源，制动结束

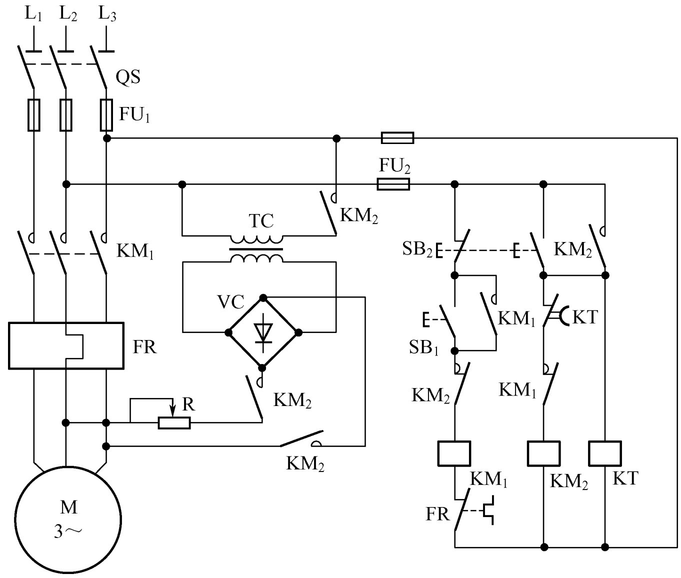
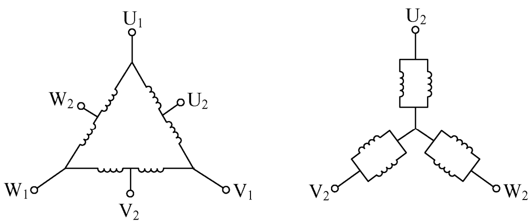


图 3-14　能耗制动原理图

3. 变极调速控制

（1）双速电动机的变极方法（如图 3-15 所示）



（a）　　　　（b）

图 3-15　双速电动机的变极方法

$U_1V_1W_1$ 端接电源，$U_2V_2W_2$ 开路，电动机为△接法（低速）。

$U_1V_1W_1$ 端短接，$U_2V_2W_2$ 端接电源为 YY 接法（高速）。

注意：变极时，调换相序，以保证变极调速以后电动机转动方向不变。

（2）双速电动机控制原理图（如图 3-16 所示）

（3）主电路

KM_1 主触点构成△接的低速接法。KM_2、KM_3 用于将 $U_1V_1W_1$ 端短接，并在 $U_2V_2W_2$ 端通入三相交流电源，构成 YY 接的高速接法。

（4）控制电路

在如图 3-16（a）所示电路中，按钮 SB_1 实现低速启动和运行。按钮 SB_2 使 KM_2、KM_3 线圈通电自锁，用于实现 YY 高速启动和运行。

图 3-16（b）所示电路在高速运行时，先低速启动，后高速（YY）运行，以减少启动电流。

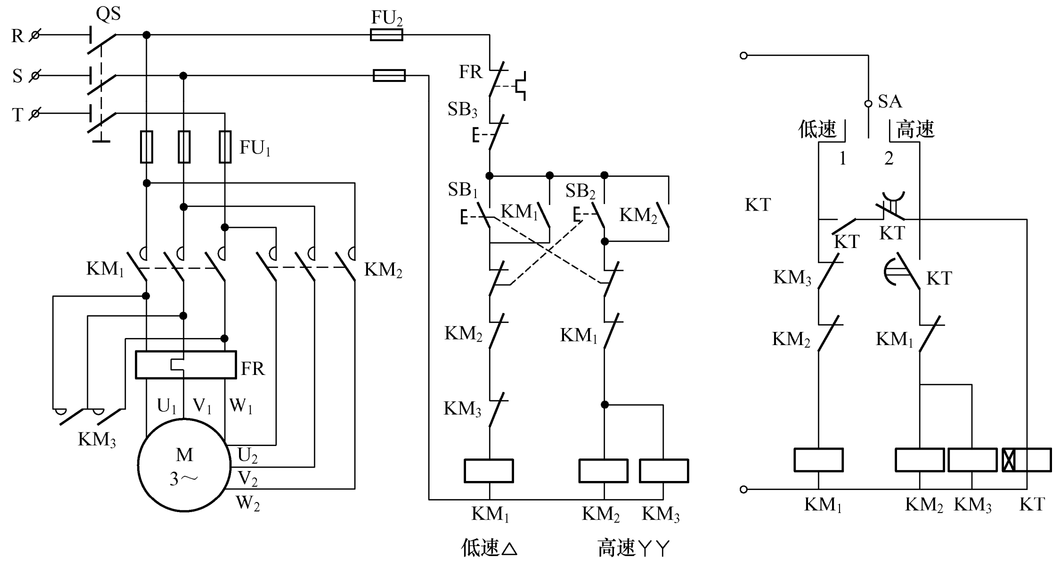


图 3-16　双速电动机控制原理图

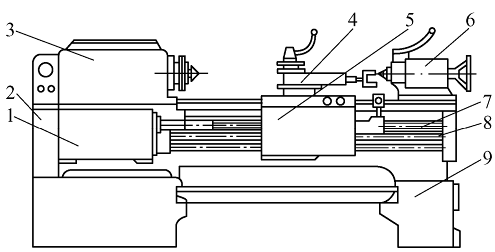
3.2.7　车床的主要结构及运动形式

1. 车床的用途

车床是一种用途极广且很普遍的金属切削机床，主要用来车削外圆、内圆、端面、螺纹、定型面，也可用钻头、铰刀等刀具来钻孔、镗孔、倒角、割槽和切断等。

2. 车床的结构

车床的结构如图 3-17 所示。



1—进给箱；2—挂轮箱；3—主轴变速箱；4—拖板与刀架；5—溜板箱；6—尾架；7—丝杆；8—光杠；9—床身

图 3-17　普通卧式车床外形图

3. 车床运动形式和控制要求

车床的主运动是工件的旋转运动，它由主轴通过卡盘或顶尖带动工件旋转。

进给运动是溜板带动刀具作纵向或横向的直线移动，也就是使切削能连续进行下去的运动。所谓纵向运动是指相对于操作者的左右运动，横向运动是指相对于操作者的前后运动。

车螺纹时要求主轴的旋转速度和进给的移动距离之间保持一定的比例，所以主运动和进给运动要由同一台电动机拖动，主轴箱和车床的溜板箱之间通过齿轮传动来连接，刀架再由溜板箱带动，沿着床身导轨作直线走刀运动。

车床的辅助运动包括刀架的快进与快退、尾架的移动及工件的夹紧与松开等。为了提高工作效率，车床刀架的快速移动由一台单独的进给电动机拖动。

4. 电气控制线路原理图绘制

（1）绘制原理图的原则与要求

① 原理图一般分为主电路、控制电路、信号电路、照明电路及保护电路等。

主电路（动力电路）指从电源到电动机大电流通过的电路，其中电源电路用水平线绘制，受电动力设备（电动机）及其保护电器支路应垂直于电源电路画出。

② 控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等，应垂直地绘于两条水平电源线之间，耗能元件（如线圈、电磁铁、信号灯等）的一端应直接连接在接地的水平电源线上，控制触头连接在上方水平线与耗能元件之间。

图中所有电器触头，都按没有通电和没有外力作用时的开闭状态画出。对于继电器、接触器的触头，按吸引线圈不通电状态画，控制器按手柄处于零位时的状态画，按钮、行程开关触头按不受外力作用时的状态画。

③ 无论主电路还是辅助电路，各元件一般应按动作顺序从上到下，从左到右依次排列。

④ 原理图中，各电气元件和部件在控制线路中的位置，应根据便于阅读的原则安排。同一电气元件的各个部件可以不画在一起。

⑤ 原理图中有直接电联系的交叉导线连接点，用实心圆点表示；可拆接或测试点用空心圆点表示；无直接电联系的交叉点则不画圆点。

⑥ 对非电气控制和人工操作的电器，必须在原理图上用相应的图形符号表示其操作方式及工作状态。由同一机构操作的所有触头，应用机械连杆符号表示其连动关系，各个触头的运动方向和状态，必须与操作件的动作方向和位置协调一致。

⑦ 对与电气控制有关的机、液、气等装置，应用符号绘出简图，以表示其关系。

如图 3-18 所示是某机床电气原理图，供参考。

（2）电气原理图图面区域的划分

为了便于确定原理图的内容和组成部分在图中的位置，常在图纸上分区。竖边用大写拉丁字母编号，横边用阿拉伯数字编号。

图幅分区后，相当于在图上建立了一个坐标。具体使用时，对水平布置的电路，一般只需标明行的标记；对垂直布置的电路，一般只需标明列的标记，如图 3-18 所示。

（3）继电器、接触器触头位置的索引

电气原理图中，在继电器、接触器线圈的下方注有该继电器、接触器相应触点所在图中位置的索引代号，索引代号用图面区域号表示，如图 3-18 所示。

（4）技术数据的标注

电气元件的数据和型号一般用小号字体标注在电器代号的下面，如图 3-18 中热继电器动作电流和整定值的标注、导线截面积的标注等。

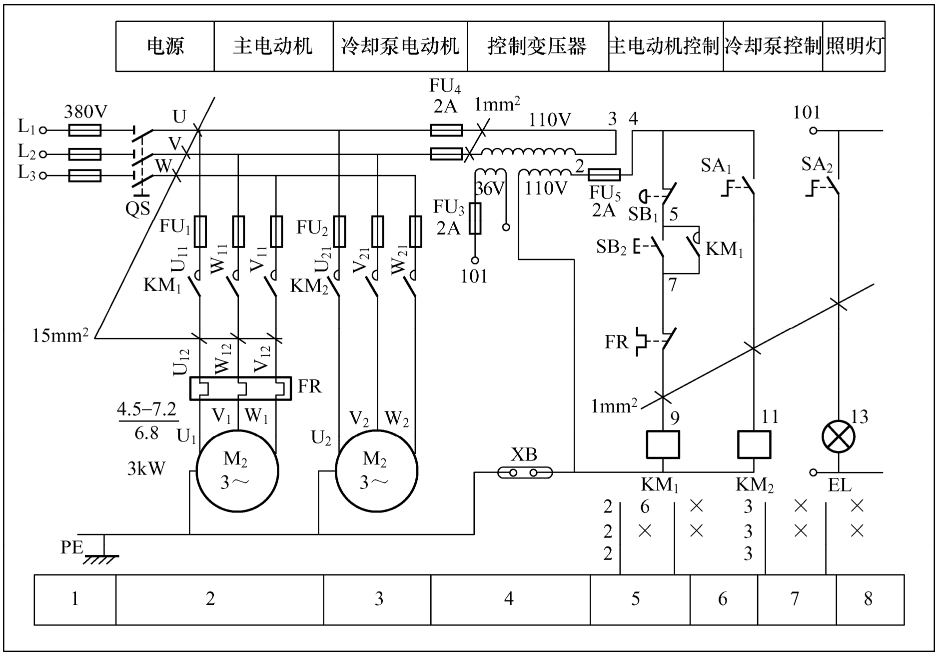


图 3-18　某机床电气原理图

（5）电气控制线路电气元件布置图的绘制

电气元件布置图用来表明电气原理图中各元器件的实际安装位置，可视电气控制系统复杂程度采取集中绘制或单独绘制。

电气元件的布置应注意以下几方面：

① 体积大和较重的电气元件应安装在电器安装板的下方，而发热元件应安装在电器安装板的上面。

② 强电、弱电应分开，弱电应屏蔽，防止外界干扰。

③ 需要经常维护、检修、调整的电气元件安装位置不宜过高或过低。

④ 电气元件的布置应考虑整齐、美观、对称。外形尺寸与结构类似的电器安装在一起，以利安装和配线。

⑤ 电气元件布置不宜过密，应留有一定间距。如用走线槽，应加大各排电器间距，以利布线和维修。

（6）电气控制线路电气元件接线图的绘制

安装接线图主要用于电器的安装接线、线路检查、线路维修和故障处理，通常接线图与电气原理图和元件布置图一起使用。

电气接线图的绘制原则是：

① 各电气元件均按实际安装位置绘出，元件所占图面按实际尺寸以统一比例绘制。

② 一个元件中所有的带电部件均画在一起，并用点画线框起来，即采用集中表示法。

③ 各电气元件的图形符号和文字符号必须与电气原理图一致，并符合国家标准。

④ 各电气元件上凡是需接线的部件端子都应绘出，并予以编号，各接线端子的编号必须与电气原理图上的导线编号相一致。

⑤ 绘制安装接线图时，走向相同的相邻导线可以绘成一股线。

3.2.8 电气控制线路装调

1. 安装与配线

（1）元件安装

步骤及主要要求如下：

① 清点所需元件并进行检查。

② 按图安装元件，并贴上醒目的文字符号。

③ 各元件的安装位置应整齐、匀称，间距合理，便于元件的更换。

④ 紧固各元件时，要用力均匀，紧固程度适当。

（2）控制系统配线

步骤及主要要求如下：

① 按安装接线图进行配线和套线号管。

② 布线应横平竖直，分布均匀，变换走向时应垂直。

③ 布线时严禁损伤线芯和导线绝缘。

④ 在每根剥去绝缘层导线的两端套上线号管，所有从一个接线端子到另一个接线端子的导线必须连续，中间无接头。

⑤ 导线与接线端子连接时，不得压绝缘层，也不能露铜过长。

⑥ 一个电气元件接线端子上的连接导线不得多于两根，每节接线端子板上的连接导线一般只允许连接一根。

2. 检查与调试

（1）检查控制线路

步骤及主要要求如下：

① 按电气原理图从电源端开始，逐段核对，有无漏接、错接之处。检查导线接点压接是否牢固。接触应良好，以免带负载运行时产生闪弧现象。

② 用万用表检查线路的通断情况。

③ 用兆欧表检查线路的绝缘电阻应大于 1MΩ。

（2）通电调试控制线路

步骤及主要要求如下：

① 通电试车前，必须征得教师同意，并由教师接通电源，同时在现场监护。

② 在通电试车时，一人监护，一人操作。

③ 出现故障后，学生应独立进行检修。若需带电进行检查时，教师必须在现场监护。

④ 通电试车完毕后切断电源，拆线时应注意先拆除电源线。

3.2.9 车床常用低压电器故障及维修

本节介绍一般电器所共有的元件、触头及电磁系统的常见故障与维修方法，然后再介绍几种常用电器的故障与维修方法。

1. 电器零部件常见故障及维修

1）触头的故障及维修

常见的故障一般有触头过热、触头磨损、触头熔焊等情况。

（1）触头过热

造成触头过热的原因有以下几个方面：

① 触头接触压力不足，如图3-19所示。应重新调整弹簧或更换新弹簧。

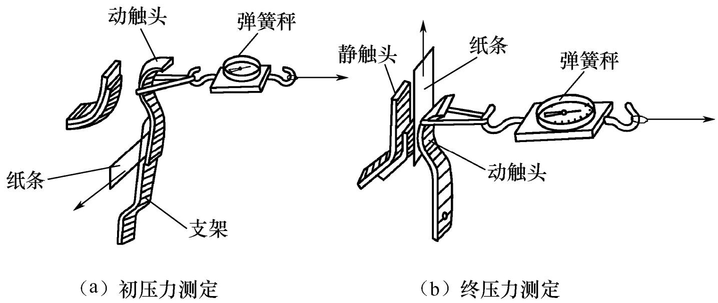


图3-19　触头初压力和终压力的测定

② 触头表面接触不良。触头表面氧化或积垢均会使接触电阻增大，如果有油污滴在触头上，再沾上灰尘，也会使触头的接触电阻增大。

③ 触头表面烧毛。触头接触表面被电弧灼伤烧毛，也会使接触电阻增大。

（2）触头磨损

分为电磨损和机械磨损。

（3）触头熔焊

动、静触头表面被熔化后焊在一起而分断不开。

2）电磁系统的故障及维修

常见的故障有动、静铁芯端面接触不良或铁芯歪斜、短路环损坏、电压太低等，使衔铁噪声增大，甚至造成线圈过热或烧毁。

（1）衔铁噪声大

① 动、静铁芯的接触面接触不良或衔铁歪斜。

② 短路环损坏。

③ 机械方面原因。触头弹簧压力过大，或因活动部分运动受到卡阻而使衔铁不能完全吸合。

（2）线圈故障及检修

其主要故障是由于所通过的电流过大以致过热而烧毁。若线圈因短路烧毁，则应重新绕制。

3）灭弧系统的故障及维修

当灭弧罩受潮、磁吹线圈匝间短路、灭弧罩炭化或破碎、弧角和栅片脱落时都会引起不能灭弧或灭弧时间延长等故障。

2. 接触器的故障及维修

（1）触头断相

由于某相触头接触不好或连接螺钉松脱，使电动机缺相运行。

（2）触头熔焊

由于接触器操作频率过高、过载使用、带负载侧短路等，使得两相或三相触头由于过载电流大引起熔焊现象。

（3）相间短路

接触器的正、反转联锁失灵，或因误动作使两个接触器同时投入运行而造成相间短路；或因接触器动作过快，转换时间短，在转换过程中发生电弧短路。

（4）接触器的维护

定期检查接触器各部件工作情况，如有损坏要及时更换或修理；可动部分不能卡住，活动要灵活，坚固件无松脱；触头表面部分与铁芯极面要保持清洁，如有油垢要及时清洗；触头接触面烧毛时，要及时修整。触头严重磨损时，应及时更换。

3. 热继电器的故障及维修

（1）热元件烧断

发生此类故障的原因可能是热继电器动作频率太高、负载侧发生短路等。

（2）热继电器误动作

故障原因一般有：一是整定值偏小，以至未过载就动作，或电动机启动时间过长，使热继电器在启动过程中动作；二是操作频率太高，使热元件经常受到冲击电流的冲击；三是使用场合有强烈的冲击及震动，使其动作机构松动而脱扣。

（3）热继电器不动作

其通常是电流整定值偏大，以至过载很久，仍不动作。

（4）热继电器的维护

使用日久，应定期校验其动作可靠性。

4. 时间继电器的故障及维修

电磁系统和触头系统的故障维修与前面所述相同，其余的故障主要是延时不准确。

5. 速度继电器的故障及维修

一般表现为电动机停车时不能制动停转。这种故障除了触头接触不良之外，还可能是胶木摆杆断裂，使触头不能动作，或调整螺钉调整不当引起的。

6. 中间继电器的故障及维修

与接触器相同。

7. 自动开关的故障及检修

（1）手动操作的自动开关不能合闸

可能的故障原因有：失压脱扣器线圈开路；线圈引线接触不良；储能弹簧变形、损坏或线路无电。

（2）电动操作的自动开关不能合闸

不能合闸的原因：操作电源不合要求；电磁铁损坏或行程不够；操作电动机损坏或电动机定位开关失灵。

（3）失压脱扣器不能使自动开关分闸

可能的原因是：反作用弹簧弹力太大或储能弹簧弹力太小；传动机构卡死，不能动作。

（4）启动电动机时自动掉闸

可能的原因有：过载脱扣装置瞬时动作整定电流调得太小。

（5）工作一段时间后自动掉闸

可能的原因是：过载脱扣装置长延时整定值调得太短，应重调；热元件或延时电路元件损坏，应检查更换。

（6）自动开关动作后常开主触头不能同时闭合

（7）辅助触头不能闭合

3.3　CW6140 车床电气控制线路装调实训

1. 安装与配线

（1）元件安装

步骤及主要要求如下：

① 清点所需元件并进行检查。

② 按图安装元件，并贴上醒目的文字符号。

③ 各元件的安装位置应整齐、匀称，间距合理，便于元件的更换。

④ 紧固各元件时，要用力均匀，紧固程度适当。

（2）控制系统配线

步骤及主要要求如下：

① 按安装接线图进行配线和套线号管。

② 布线应横平竖直、分布均匀，变换走向时应垂直。

③ 布线时严禁损伤线芯和导线绝缘。

④ 在每根剥去绝缘层导线的两端套上线号管，所有从一个接线端子到另一个接线端子的导线必须连续，中间无接头。

⑤ 导线与接线端子连接时不得压绝缘层，也不能露铜过长。

⑥ 一个电气元件接线端子上的连接导线不得多于两根，每节接线端子板上的连接导线一般只允许连接一根。

2. 检查与调试

（1）检查控制线路

步骤及主要要求如下：

① 按电气原理图从电源端开始，逐段核对，有无漏接、错接之处。检查导线接点压接是否牢固。接触应良好，以免带负载运行时产生闪弧现象。

② 用万用表检查线路的通断情况。

③ 用兆欧表检查线路的绝缘电阻应大于 1MΩ。

（2）通电调试控制线路

步骤及主要要求如下：

① 通电试车前，必须征得教师同意，并由教师接通电源，同时在现场监护。
② 在通电试车时，一人监护，一人操作。
③ 出现故障后，学生应独立进行检修。若需带电进行检查时，教师必须在现场监护。
④ 通电试车完毕后切断电源，拆线时应注意先拆除电源线。

3. 评分标准

项目内容	分值	评分标准	成绩	备注
电动机、电气元件检查	10分	电动机质量未检出扣5分 电气元件质量未检出扣2分		
安装元件	10分	不按图安装扣20分 元件安装不牢固，每处扣5分 元件安装不整齐、不匀称、不合理，每处扣4分 损坏元件扣20分		
接线工艺	30分	不按原理图接线扣20分 错、漏、多接线一处扣5分 按钮引出线多一根扣5分 按钮开关颜色错误扣5分 接点不符合要求，每个点扣2分 损伤导线绝缘或线芯，每处扣4分 导线使用错误，每根扣3分 配线不美观、不整齐、不合理，每处扣2分 漏接接地线扣10分		
通电试车	20分	第一次通电试车不成功扣10分 第二次不成功扣20分		
安全、文明生产	10分	违反安全、文明生产扣5～10分		
工时	10分	按照规定时间，每超过1学时扣5分		
报告及总结	10分	酌情评分		
合计				

4. 填写调试记录

习　题　3

一、选择题

1．三相异步电动机Y-△降压启动时，其启动转矩是全压启动转矩的（　　）倍。

A．$\frac{1}{3}$　　B．$\frac{1}{\sqrt{3}}$　　C．$\frac{1}{2}$　　D．不能确定

2．大型异步电动机不允许直接启动，其原因是（　　）。

A．机械强度不够　　B．电动机温升过高

C．启动过程太快　　D．对电网冲击太大

3．采用 Y-△降压启动的电动机，正常工作时定子绕组接成（　　）。

A．角形　　B．星形

C．星形或角形　　D．定子绕组中间带抽头

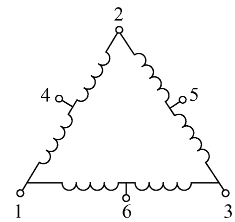
4．一单绕组双速电动机，绕组接线图如下所示，高速时端子该如何接（　　）。

A．1，2，3 接电源，4，5，6 空着

B．1，2，3 接电源，4，5，6 短接

C．4，5，6 接电源，1，2，3 空着

D．4，5，6 接电源，1，2，3 短接



5．三相笼型异步电动机能耗制动是将正在运转的电动机从交流电源上切除后，（　　）。

A．在定子绕组中串入电阻　　B．在定子绕组中通入直流电流

C．重新接入反相序电源　　D．以上说法都不正确

6．对于交流电动机，下列哪种方法属于变转差率调速（　　）。

A．改变电源频率　　B．改变定子绕组的极对数

C．转子回路中串入可调电阻　　D．改变电源电压

7．下列异步电动机的制动方法中（　　）制动最强烈。

A．能耗　　B．回馈　　C．倒拉反接　　D．电源反接

8．三相异步电动机采用 Y-△启动机时，下列描述中（　　）是错误的。

A．正常运行时作△接法　　B．启动时作 Y 接法

C．可以减小启动电流　　D．适合要求重载启动的场合

9．适用于电动机容量较大且不允许频繁启动的降压启动方法是（　　）。

A．星—三角　　B．自耦变压器

C．定子串电阻　　D．延边三角形

10．用来表明电动机、电器实际位置的图是（　　）。

A．电气原理图　　B．电器布置图　　C．功能图　　D．电气系统图

11．对于要求制动准确平稳的场合，应采用（　　）。

A．反接制动　　B．能耗制动

C．电容制动　　D．再生发电制动

12．异步电动机采用自耦补偿启动器启动时，其三相定子绕组的接法（　　）。

A．只能采用三角形接法　　B．只能采用星形接法

C．只能采用星形—三角形接法　　D．三角形接法及星形接法都可以

13．双速电动机属于（　　）调速方法。

A．变频　　B．改变转差率

C．改变磁级对数　　D．降低电压

14．三相异步电动机变极调速的方法一般适用于（　　）。

A．鼠笼式异步电动机　　B．绕线式异步电动机

C．同步电动机　　D．滑差电动机

15．反接制动时，旋转磁场反向转动，与电动机的转动方向（　　）。

A．相反　　B．相同　　C．不变　　D．垂直

16．三相鼠笼式异步电动机直接启动电流，一般可达额定电流的（　　）倍。

A．2～3　　B．3～4　　C．4～7　　D．10

二、简答题

1．三相异步电动机的启动基本要求有哪些？

2．什么叫三相异步电动机的降压启动？有哪几种降压启动的方法？

3．电动机的启动电流很大，当电动机启动时，热继电器会不会动作？为什么？

4．三相异步电动机正常运行时，如果转子突然被卡住而不能转动，试问这时电动机的电流有何改变？对电动机有何影响？

项目 4 XA6132 铣床电气控制线路设计与装调

4.1 学习任务及要求

1. 控制对象

XA6132 型卧式铣床/Z3050 型摇臂钻床。

2. 控制要求

（1）铣床控制要求

① 主轴电动机正、反转运行，以实现顺铣、逆铣。

② 主轴具有停车制动。

③ 主轴变速箱在变速时具有变速冲动，即短时点动。

④ 进给电动机双向运行。

⑤ 主轴电动机与进给电动机具有联锁，以防在主轴没有运转时，工作台进给损坏刀具或工件。

⑥ 圆工作台进给与矩形工作台进给具有互锁，以防损坏刀具或工件。

⑦ 矩形工作台各进给方向具有互锁，以防损坏工作台进给机构。

⑧ 工作台进给变速箱在变速时同样具有变速冲动。

⑨ 主轴制动、工作台的工进和快进由相应的电磁离合器接通对应的机械传动链实现。

⑩ 具有完善的电气保护。

（2）钻床控制要求

① 控制系统设置总启停控制。

② 主轴电动机的单向长动运行（主轴的分合、换向、调速由机械完成）。

③ 所有夹紧机构由双向旋转的液压泵供油给夹紧油缸驱动。正转，放松；反转，夹紧。

④ 摇臂升降结束，需一定的延时，等消除升降电动机惯性旋转后，再自动夹紧。

⑤ 为点动控制，但包括下述过程：

给升（降）信号→升降夹紧机构放松→（到位）升（降）→（到位）→拆除升（降）信号→延时→升降夹紧机构夹紧→（到位）→停止（整个过程结束）

⑥ 摇臂升降要有限位保护。

⑦ 夹紧机构油路由电磁铁（电磁阀）YA1、YA2 控制。当 YA 失电，油路向摇臂升降夹紧机构供油；若 YA1、YA2 分别或同时得电，油路分别或同时向主轴箱、立柱夹紧机构供油。

⑧ 主轴箱平移、立柱旋转采用点动控制。在主轴箱平移、立柱旋转过程中，YA1、YA2 得电，需一定的延时，保证油路完全接通后才能启动液压泵（电动机）；液压泵（电动机）停止后，需一定的延时，保证液压泵（电动机）惯性旋转结束后才能断开 YA1、YA2，以防止

惯性旋转产生的压力油堵塞，造成油路干涉，损坏油路。

⑨ 具有必要的指示电路和照明电路。

⑩ 具有完善的电气保护。

3. 技术指标

（1）铣床主参数

① 工作台面积：320mm×1320mm。

② 电动机参数。

③ 电磁离合器：DC24V，0.85A。

（2）钻床主参数

① 最大钻削直径：50mm。

② 电动机主参数。

主电动机：Y112M-4，4kW。

摇臂升降电动机：Y90L-4，1.5kW。

液压泵电动机：Y802-4，0.75kW。

冷却泵：AOB-25，90W。

4. 工期要求

以上两个项目二选一，整个项目在 7 天（45 学时）内完工。

5. 现有条件

① XA6132 卧式铣床/Z3040 摇臂钻床。

② 电源：380V；功率：50kW。

③ 低压电气控制屏。

④ 安装环境：室内 25℃，室外 35℃。

6. 项目提交资料

① 设计方案说明。

② 原理图、位置图、布线图。

③ 调试记录。

④ 元件清单。

⑤ 项目进程表。

⑥ 个人设计总结。

4.2 知识链接

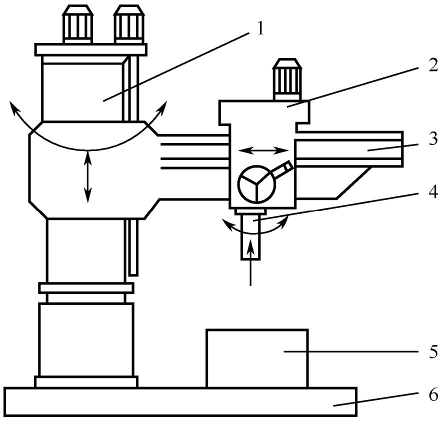
4.2.1 Z3050 型钻床电气控制系统

钻床主要用于工件钻削加工，如钻孔、括孔、铰孔、攻丝。常见的钻床可分为立式钻床、台式钻床、摇臂钻床、专用钻床等。下面主要介绍摇臂钻床的电气控制系统。

1. 钻床的结构和运动

（1）摇臂钻床的结构

摇臂钻床由底座、立柱（分内立柱、外立柱）、摇臂、主轴箱、工作台、摇臂升降机构、摇臂升降夹紧机构、主轴箱平移夹紧机构、外立柱绕内立柱旋转夹紧机构等部件组成，如图 4-1、图 4-2 所示。



1—内、外立柱；2—主轴箱；3—摇臂；

4—主轴；5—工作台；6—底座

图 4-1　摇臂钻床结构示意图

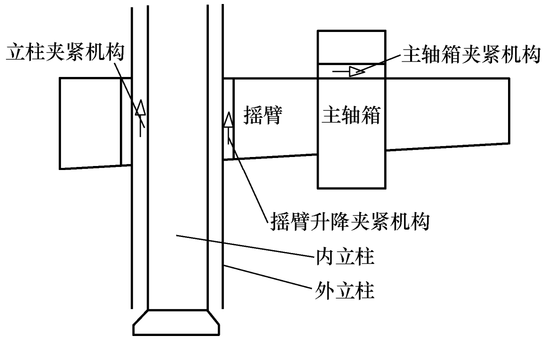


图 4-2　摇臂钻床夹紧机构示意图

（2）运动

摇臂钻床的主运动是主轴的旋转运动，辅运动包括摇臂的升降运动、摇臂（通过外立柱绕内立柱）做旋转运动、主轴箱（沿摇臂）的平移运动、夹紧机构的夹紧/放松运动和冷却泵的旋转运动。

2. 摇臂钻床的控制要求与特点

任何一台设备的控制都有它的控制要求，控制要求是根据机械、电气要求决定的。除了控制的共性外，每台设备还有它自身的控制特点。下面是 Z3050 型钻床的控制要求。

① 主轴电动机的单向运行，主轴的分合、换向、调速由机械完成。

② 所有夹紧机构由双向旋转的液压泵供油给夹紧油缸驱动。液压泵电动机正转，放松；反转，夹紧。

③ 摇臂升降之前，需自动将其夹紧机构放松；摇臂升降结束，需一定的延时用于消除升降电动机惯性旋转后再自动夹紧。

④ 摇臂升降为点动控制，包括下述过程：

给升（降）信号→升降夹紧机构放松→（到位）升（降）→（到位）→拆除升（降）信号→延时→升降夹紧机构夹紧→（到位）→停止（整个过程结束）

⑤ 具有摇臂升降限位保护。

⑥ 摇臂钻床有三个夹紧机构，夹紧/放松由液压系统驱动。油路由电磁铁（电磁阀）YA_1、YA_2 控制。当 YA_1、YA_2 都失电时，油路向摇臂升降夹紧机构供油；当 YA_1、YA_2 分别或同时得电时，油路分别或同时向主轴箱、立柱夹紧机构供油。

⑦ 主轴箱平移、立柱旋转由人力完成，其夹紧机构动力由液压系统实现。在主轴箱、立

柱的夹紧机构液压泵（电动机）启动前，YA_1、YA_2得电，需一定的延时，保证油路完全接通后，才能启动液压泵（电动机）；夹紧机构的液压泵（电动机）停止后，需一定的延时，保证液压泵（电动机）惯性旋转结束后，才能断开 YA_1、YA_2，以防止惯性旋转产生的压力油堵塞，造成油路干涉，损坏油路。

⑧ 具有必要的指示电路和照明电路。

⑨ 具有完善的电气保护。

3. 控制电路分析

Z3050 型钻床的控制电路如图 4-3 所示。控制电路包括主轴电动机控制、摇臂升降控制、主轴箱/立柱的夹紧/放松控制。

（1）主轴电动机控制

M_1用于主轴电动机的驱动，电源开关合上后，按下主轴电动机 M_1的启动按钮 SB_3，有下述工作过程：

$$\downarrow SB_3 \rightarrow KM_1 \begin{cases} \rightarrow M_1^+ \\ \rightarrow HL_2^+ \text{（主轴电动机 } M_1 \text{运行指示）} \end{cases}$$

主轴电动机 M_1 启动运行后，同时拖动一个液压泵，其压力油用于主轴的分合、调速、换向。按下 SB_2，主轴电动机 M_1停止运行，运行指示灯 HL_2断电熄灭。

（2）摇臂升降控制

摇臂升降过程及动作元件为：

给升（降）信号（$\downarrow SB_4$、SB_5）→升降夹紧机构放松（KM_4^+）→（到位$\downarrow SQ_2$）升（降）

升（降）到所需位置后：

拆除升（降）信号（$\uparrow SB_3$、SB_4）→延时（KT_1）→升降夹紧机构夹紧（KM_5^+）→（到位$\downarrow SQ_3$）→停止（整个过程结束）

下面以上升为例分析其工作过程，按下按钮 SB_4，经 7、15、17，使 KT_1得电，其瞬动触点闭合，经 7、15、17、33、35、37、39 使 KM_4得电，液压泵电动机 M_3正转，摇臂升降夹紧机构放松，到位后压下行程开关 SQ_2，其长闭触点断开 KM_4释电，升降夹紧机构放松结束，同时，SQ_2的长开触点闭合，经 7、15、17、21、23、25 使 KM_2得电，实现摇臂电动机 M_2 正转，摇臂上升。上升至所需位置，松开按钮 SB_4，KT_1、KM_2 同时释电，KT_1 的断电延时闭合触点延时 T_1时间后闭合，经 7、47、49、51 使 KM_5得电，液压泵电动机 M_3反转，摇臂升降夹紧机构夹紧，到位后压下行程开关 SQ_3，其长闭触点断开 KM_5释电，整个升降过程结束。其工作过程可简示如下：

$$\downarrow SB_4 \rightarrow KT_1^+ \rightarrow KM_4^+ \rightarrow M_3^+ \text{（放松）} \rightarrow (\uparrow SQ_3)\text{（放松到位）} \begin{cases} \rightarrow KM_4^- \rightarrow M_3^- \\ \rightarrow KM_2^+ \rightarrow M_2^- \text{（上升）} \end{cases}$$

$$\text{（上升到位）} \uparrow SB_4 \begin{cases} \rightarrow KM_2^- \rightarrow M_2^- \\ KT_1^- \rightarrow \text{（过 } T_1\text{）} \rightarrow KM_5^+ \rightarrow M_3^+ \text{（夹紧} \uparrow SQ_2\text{）} \rightarrow \text{（夹紧到位）} \end{cases}$$

$$\downarrow SQ_3 \rightarrow KM_5^- \rightarrow M_3^-$$

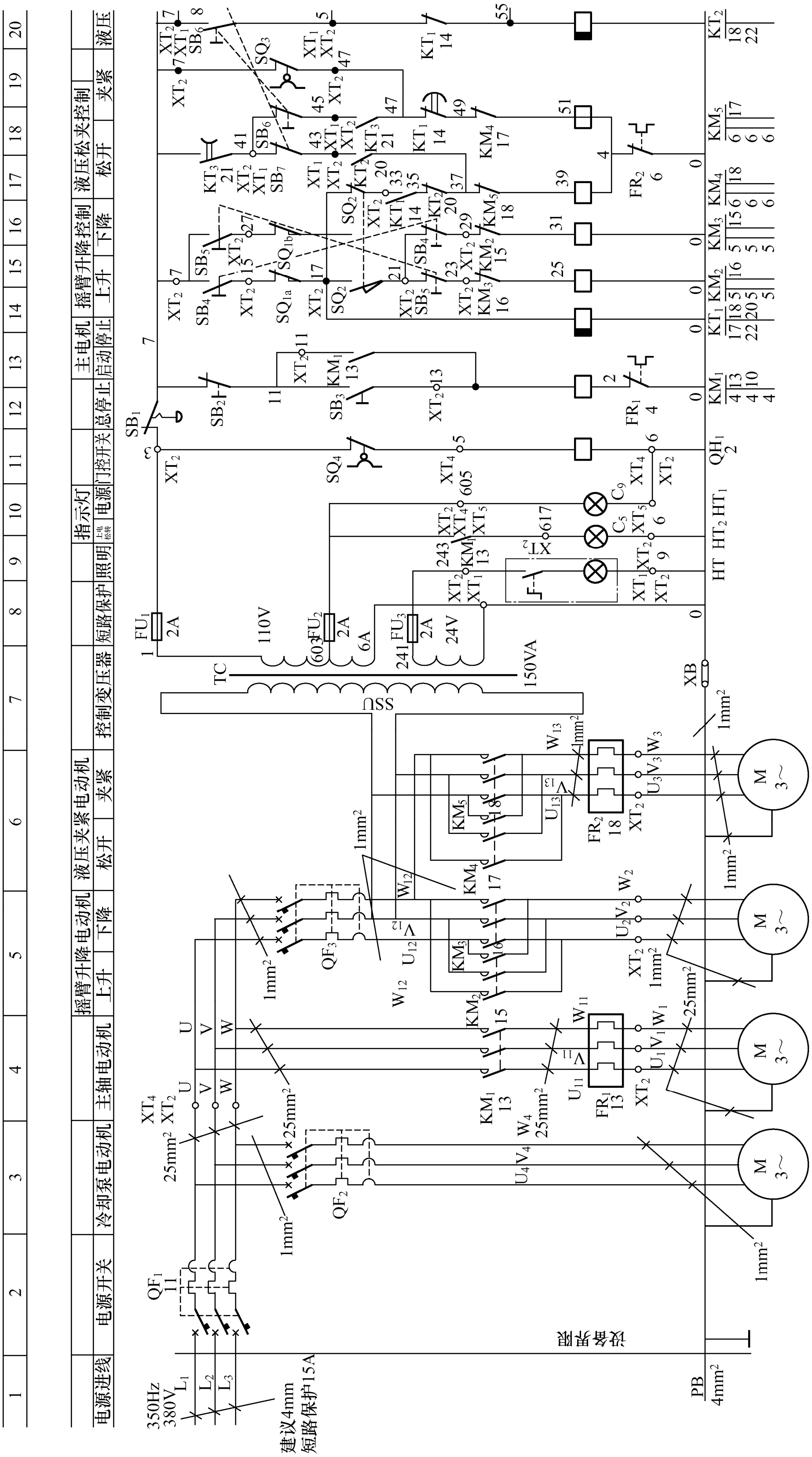


图 4-3　Z3050 型钻床控制电路

（3）主轴箱/立柱夹紧/放松控制

当主轴箱/立柱夹紧机构选择开关 SA_1 打到左边挡时，只有主轴箱得电，接通其油路夹紧/放松电磁铁，实现主轴箱夹紧/放松；当 SA_1 打到中间挡时，主轴箱、主轴同时夹紧/放松；当 SA_1 打到右边挡时，只有立柱夹紧机构夹紧/放松。以只有主轴箱夹紧/放松为例，分析如下：

将 SA_1 打到左边挡，实现放松，按下 SB_6，经 7、53、55 使 KT_2、KT_3 得电。KT_2 得电使 YA_1 得电，通过 KT_3 的通电延时闭合触点延时 T_3 时间，经 7、41、43、37、39 使 KM_4 得电，液压泵电动机 M_3 正转，主轴箱夹紧机构放松，通过 SB_6 的互锁触点断开夹紧回路，有下述过程：

$$\downarrow SB \rightarrow \begin{cases} KT_2^+ \text{（}SA_1\text{）} \rightarrow YA_1^+ \text{（接通主轴箱夹紧油路）} \\ KM_3^+ \rightarrow \text{（过 } T_3\text{）} KM_4^+ \rightarrow M_3^+ \text{（放松）} \end{cases}$$

放松到位后，松开按钮 SB_6，KT_2、KT_3 释电，KM_4 释电，通过 KT_2 的断电延时断开触点延时 T_2 时间后，YA_1 释电，放松过程结束。有下述过程：

$$\uparrow SB_6 \rightarrow \begin{cases} KT_2^- \rightarrow \text{（过 } T_2\text{）} YA_1^- \\ KT_3^- \rightarrow KM_4^- \rightarrow M_3^- \end{cases}$$

当 SA_1 打到左边挡，需夹紧时，按下 SB_7，有下述过程：

$$\downarrow SB_7 \rightarrow \text{（}4\text{–}27^+\text{）} \begin{cases} KT_2^+ \text{（}SA_1\text{）} \rightarrow YA_1^+ \text{（接通主轴箱夹紧油路）} \\ KT_3^+ \rightarrow \text{（过 } T_3\text{）} KM_5^+ \rightarrow M_3^+ \text{（夹紧）} \end{cases}$$

夹紧到位后，松开按钮 SB_7，有下述过程：

$$\uparrow SB_7 \rightarrow \begin{cases} KT_2^- \rightarrow \text{（过 } T_2\text{）} YA_1^- \\ KT_3^- \rightarrow KM_5^- \rightarrow M_3^- \end{cases}$$

（4）电路中其他元件作用与说明

QF_1——电源总开关，系统短路、过载保护，以及主电动机 M_1 的短路保护。

QF_2——冷却泵电动机 M_4 短路、过载、过流保护。

QF_3——摇臂升降电动机 M_2、夹紧电动机 M_3 电源开关及其短路保护。

FR_1——主轴电动机 M_1 的过载保护。

FR_2——夹紧电动机 M_2 的过载保护。

TC——控制变压器。

FU_1——控制回路短路保护。

FU_2——指示回路短路保护。

FU_3——照明回路短路保护。

SB_1——系统总停按钮。

SQ_1——摇臂升降限位开关。

SQ_4——门开关保护。

HL_1——电源指示。

EL——机床照明。

4. 控制电路故障分析

（1）摇臂不能升降的可能原因。

可能的原因有：

① SQ_2 不能动作或其开路。

② 时间继电器 KT_1 损坏（不能动作），或者其线圈开路，或者其瞬动触点不动作或开路。

③ 升降控制电动机的接触器开路或不能动作。

（2）在摇臂升降按钮按下，还未放松时就松开按钮，将会自动实现夹紧。电路怎样实现该功能？

在摇臂升降按钮按下，还未放松时，就松开按钮，将会自动实现夹紧。该功能通过电路中的 KT_1 的通电延时触点完成。

（3）为什么 M_3 短时工作也需使用热继电器做过载保护？

短时工作一般不需要热继电器做过载保护，但摇臂钻床的夹紧机构用电动机安装在机械内部，不便观察，为保证电动机不被损坏，增加运行保护效果，为此设计者也加入了过载保护。

4.2.2　继电器、接触器电气控制系统的设计

目前，一些简单设备的控制系统仍采用继电器—接触器控制，也称常规控制或传统控制。尽管数控系统和可编程控制器控制越来越多，但是，一方面传统设备、没有改造的设备拥有量还较多；另一方面数控化有较长的发展过程，而且一些简单系统根本不需要微机控制。因此，学习和掌握机械设备继电器、接触器电气控制系统的设计是极为重要的。本章主要叙述电气控制设计的基本原则、基本内容及电力拖动方案和电动机的选择。

1. 电气控制设计的基本原则、基本内容和设计程序

设计工作的首要问题是必须树立正确的设计思想，树立工程实践的观点，这是高质量完成设计任务的根本保证。

（1）电气控制设计的基本原则

在设计过程中，通常应遵循以下几个原则：

① 最大限度满足机械设备和工艺对电气控制系统的要求。

② 在满足控制要求的前提下，设计方案力求简单、经济和实用，不宜盲目追求自动化和高指标。

③ 把电气系统的安全性和可靠性放在首位，确保使用安全、可靠。

④ 妥善处理机械与电气的关系，要从工艺要求、制造成本、机械电气结构的复杂性和使用维护等方面综合考虑。

（2）电气控制设计的基本内容

电气控制设计包括原理设计与工艺设计两个基本部分。

原理设计内容如下：

① 拟订电气控制设计任务书。

② 选择拖动方案、控制方式和电动机。

③ 设计并绘制电气原理图和选择电气元件并制定元器件目录表。

④ 对原理图各连接点进行编号。

工艺设计内容如下：

① 根据电气原理图（包括元器件表），绘制电气控制系统的总装配图及总接线图。

② 电气元件布置图的设计与绘制。

③ 电气组件和元件接线图的绘制。

④ 电气箱及非标准零件图的设计。

⑤ 各类元器件及材料清单的汇总。

⑥ 编写设计说明书和使用维护说明书。

（3）电气控制设计的一般程序

设计程序一般是先进行原理设计再进行工艺设计，详细的设计程序同前述设计内容的排序相同。除电气设计任务书以外，其余内容后面要详述。

设计任务书是整个系统设计的依据，同时又是今后设备竣工验收的依据。其基本内容为：

① 给出机械及传动结构简图、工艺过程、负载特性、动作要求、控制方式、调速要求及工作条件。

② 给出电气保护、控制精度、生产效率、自动化程度、稳定性及抗干扰要求。

③ 给出设备布局、安装、照明、显示和报警方式等要求。

④ 给出目标成本与经费限额、验收标准及方式等。

2. 电力拖动方案确定原则和电动机的选择

1）电力拖动方案确定原则

交流电动机特别是笼型异步电动机结构简单、运行可靠、价格低廉、维修方便、应用广泛，所以在选择电力拖动方案时，首先应尽量考虑笼型异步电动机，只有那些要求调速范围大和频繁启/制动的机械设备，才考虑采用直流或交流无级调速系统。因此，应依据机械设备对调速的要求来考虑电力拖动方案。

① 对于一般无特殊调速指标要求的机械设备，应优先采用笼型异步电动机。

② 对于要求电气调速的机械设备，应根据调速技术要求，如调速范围、调速平滑性、调速级数和机械特性硬度来选择电力拖动方案。

- 若调速 D=2～3（其中 $D=n_{max}/n_{min}$），额定负载下，调速级数≤2～4，一般采用可变级数的双速或多速笼型异步电动机。
- 若 D=3～10，且要求平滑调速时，在容量不大的情况下，应采用带滑差电磁离合器的笼型异步电动机拖动方案。
- 若调速 D=10～100，可采用晶闸管直流或交流调速拖动方案。

电力拖动系统设计时，电动机的调速性质应与负载特性相适应。

调速性质是指在整个调速范围内转矩和功率与转速的关系，有恒功率和恒转矩输出两种。以车床为例，其主运动需要恒功率传动，进给运动则要求恒转矩传动。若采用双速笼型异步电动机，当定子绕组由三角形改成双星形连接时，转速由低速升为高速，而功率却增加很少，适用于恒功率传动。但当定子绕组由低速的星形连接改成双星形连接后，转速和功率都增加一倍，而电动机输出转矩却保持不变，适用于恒转矩传动。

2）电动机的选择

机械设备的运动部分大多数由电动机驱动。因此，正确地选择电动机具有重要的意义。

（1）电动机结构形式的确定

一般来说，应采用通用系列的普通电动机，只有在特殊场合才采用某些特殊结构的电动机，以便于安装。

在通常的环境条件下，应尽量选用防护式（开启式）电动机。对易产生悬浮飞扬的铁屑或废料、切削液、工业用水等有损绝缘的介质能侵入电动机的场合，应采用封闭式为宜。煤油冷却切削刀具或加工易燃合金的机械设备应选用防爆式电动机。

（2）电动机容量的选择

正确地选择电动机容量具有重要意义。电动机容量选得过大是浪费，且功率因数降低；选得过小，会使电动机因过载运行而降低使用寿命。

电动机容量选择的依据是机械设备的负载功率。若机械设备总体设计中确定的机械传动功率为 P_1，则所需电动机的功率 P 为

$$P=P_1/\eta$$

式中，η 为机械传动效率，一般取为 0.6～0.85。

工厂中许多设备的实际载荷是经常变化的，每个负载的工作时间也不尽相同，并且 P_1 往往是工程估算得出的，η 也是一个经验数据，所以在实际确定时，大多采用调查统计类比法。这种方法就是对机械设备的主拖动电动机进行实测、分析，找出电动机容量与机械设备主要数据的关系，据此作为选择电动机容量的依据。

对常见的机床设备有以下公式（以下经验公式中功率 P 的单位为 kW）。

① 卧式车床：

$$P=36.5D^{1.54}$$

式中，D 为工件最大直径（m）。

② 立式车床：

$$P=20D^{0.88}$$

式中，D 为工件最大直径（m）。

③ 摇臂钻床：

$$P=0.0646D^{1.19}$$

式中，D 为最大钻孔直径（mm）。

④ 外圆磨床：

$$P=0.1KB$$

式中，B 为砂轮宽度，当砂轮主轴采用滚动轴承时，K 取 0.8～1.1；采用滑动轴承时，K 取 1.0～1.3。

⑤ 卧式铣镗床：

$$P=0.004D^{1.7}$$

式中，D 为镗杆直径（mm）。

⑥ 龙门铣床：

$$P=0.006B^{1.15}$$

式中，B 为工作台宽度（mm）。

机床进给运动电动机的容量：车床、钻床约为主电动机的 0.03～0.05，铣床则为 0.2～0.25。

（3）电动机转速的选择

笼型异步电动机的同步转速有 3000r/min、1500r/min、750r/min 和 600r/min 等几种。一般情况下选用同步转速为 1500r/min 的电动机。因为这个转速下的电动机适应性强，而且功率因数和效率也较高。对于一定容量，转速选得越低，则电动机的体积就越大，价格也越高，并且功率因数和效率也越低。但选得太高，则增加了机械部分的复杂程度。

（4）笼型异步电动机的系列

Y 系列电动机是全国统一设计的新系列产品，它具有效率高、启动转矩大、噪声低、振动小、性能优良、外形美观等优点，功率等级和安装尺寸符合国际电工委员会标准。

一般电动机的铭牌上有名称、型号、功率、电压、电流、频率、接法、工作方式、绝缘等级、产品编号、重量、生产厂家和出厂日期等栏。

若电压写 380V，接法写△连接，表示定子绕组的额定电压为 380V，应接成△连接。若电压写 380V/220V，接法写 Y/△连接，表明电源线电压为 380V，应接成 Y 连接；电源线电压为 220V，应接成△连接。

电流是指电动机绕组的输入电流。如果有两个电流值，表示定子绕组在两种接法时的输入电流。

3. 电气控制线路的设计

机械设备电气原理图包括机械设备电气控制线路图和电气元器件目录表，它的设计是设备电气系统设计的中心环节，而电气控制线路的设计又是这一环节的核心内容。在总体方案确定之后的具体设计是从电气原理图开始的，各项设计要求和指标主要是通过电气原理图来实现的，同时，它又是工艺设计和编制各种技术资料的依据。

1）电气原理图设计的基本方法

电气原理图的设计是在拖动方案及控制方式确定之后进行的。在具体设计时，熟练掌握下面几种基本方法的应用是极为重要的。

（1）经验设计

若控制系统较简单，可采用经验设计法，也就是利用前面学过的基本电路的知识，按照主电路→控制电路→辅助电路→联锁与保护→总体检查→反复修改与完善的步骤进行。

（2）逻辑设计

所谓逻辑设计是指：参照在控制要求中由机械液压系统设计人员给出的执行元件及主令电器工作状态表，找出执行元件线圈同主令电器触点间的关系，将主令电器的触点作为逻辑自变量，执行元件线圈作为逻辑因变量，写出有关逻辑代数式；当无法写出全部逻辑式时，只能凭经验逐个增设中间继电器，将它们的触点也当作逻辑自变量，直到能写出全部逻辑式为止，另外，还要写出中间继电器自身的逻辑式；最后，根据逻辑式作出对应电路。但是，一般当系统复杂时才采用逻辑设计法，而在当前条件下，较复杂的系统应采用可编程序控制器控制。

2）电气原理图设计的注意点

有时候，设计出来的实际线路会出现不正确、不合理、不经济等现象，因此在设计过程中应注意以下几点。

① 避免“临界竞争和冒险现象”的产生，图 4-4 为一个产生这种现象的典型电路。

图 4-4 所示电路的设计意图是：按动 SB_2 后，KM_1、KT 通电，电动机 M_1 运转，延时到

后，电动机 M_1 停转、M_2 运转。正式运行时，会产生这样的奇特现象：有时候可正常运行，有时候就不行。原因在于图 4-4 所示电路设计不可靠，存在临界竞争和冒险现象。KT 延时到后，其延时常闭触点总是由于机械运动原因先断开而延时常开触点晚闭合，当延时常闭触点先断开后，KT 线圈随即断电，由于磁场不能突变为零和衔铁复位需要时间，故有时候延时常开触点来得及闭合，但有时候因受到某些干扰而失控。若将 KT 延时常闭触点换上 KM_2 常闭触点以后，就绝对可靠了。改进后的电路如图 4-5 所示。

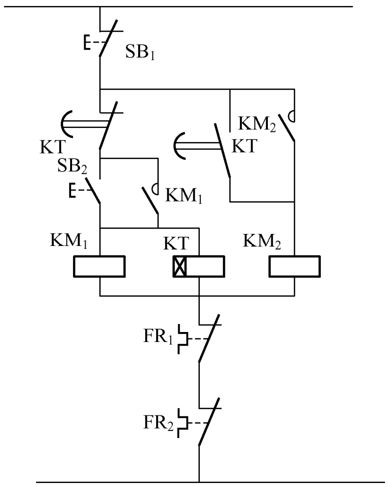


图 4-4　典型竞争电路

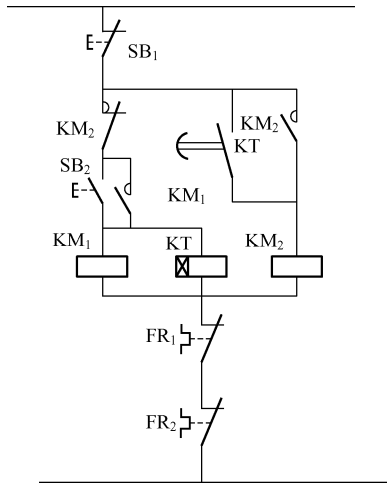


图 4-5　改造后的电路

② 尽量减少电气元件触点数量，图 4-6 为一个实例。图 4-6（a）不合理；图 4-6（b）较合理，节省了一个 KM_1 常开触点，通过两个线圈共用同一个触点来实现。

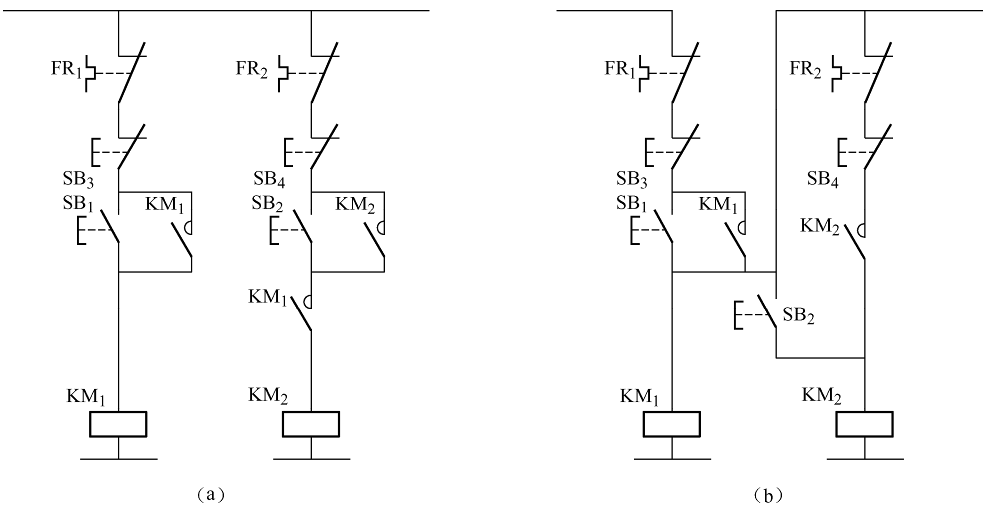


图 4-6　减少电气元件触点数量的方法举例

③ 合理安排电气元件触点位置。

④ 尽量减少电气线路的电源种类，电源有交流和直流两大类，接触器和继电器等也有交直流两大类，要尽量采用同一类电源。电压等级应符合标准等级，如交流一般为 380V、220V、127V、110V、36V、24V、6.3V，直流为 12V、24V 和 48V。

⑤ 尽量减少电气元件的品种、规格、数量和触点。同一用途的电气元件，尽可能选用同

一型号规格。实现同一控制功能的电路可以有多个，电气元件的触点用得最少的电路最优。

⑥ 尽可能减少通电电器数量。例如，时间继电器在完成延时控制功能以后就应断电，以利于节能和延长寿命。

3）原理图设计举例：CW6163 型卧式车床电气原理图的设计

（1）课题概述和设计要求

CW6163 型卧式车床是性能优良、应用广泛的普通小型车床，工件最大车削直径为 630mm，工件最大长度为 1500 mm，其主轴运动的正、反转依靠两组机械式摩擦片离合器完成，主轴的制动采用液压制动器，进给运动的纵向左右运动、横向前后运动及快速移动都集中由一个手柄操作。对电气控制的要求是：

① 由于工件的最大长度较长，为了减少辅助时间，除了配备一台主轴运动电动机以外，还应配备一台刀架快速运动电动机，主轴运动的启、停要求两地操作。

② 由于车削时会产生高温，故需配备一台普通冷却泵电动机。

③ 需要一套局部照明装置及一定的工作状态指示灯。

（2）电动机的选择

根据课题概述和设计要求，可知需配备三台电动机：主轴电动机，设为 M_1；冷却泵电动机，设为 M_2；快速电动机，设为 M_3。通常电动机的选择在机械设计时确定。

① 主轴电动机 M_1 选定为 Y160M-4（11kW，380V，22.6A，1460r/min）。

② 冷却泵电动机 M_2 选定为 JCB-22（0.125kW，380V，0.43A，2790r/min）。

③ 快速电动机 M_3 选定为 Y90S-4（1.1kW，380V，2.7A，1400r/min）。

（3）电气控制线路图的设计

① 主电路的设计。

主轴电动机 M_1：M_1 的功率较大，超过 10kW，但是由于车削是在启动以后进行，并且主轴的正、反转通过机械式方式进行，所以 M_1 采用单向直接启动控制方式，用 KM 进行控制。在设计时还应考虑过载保护，并采用电流表 PA 监视车削量，就可得到控制 M_1 的主电路，如图 4-7 所示。从图 4-7 中可以看到 M_1 未设置短路保护，它的短路保护可由机械设备的前一级配电箱中的熔断器担任。

冷却泵电动机 M_2 和快速电动机 M_3：由于电动机 M_2 和 M_3 的功率较小，额定电流分别为 0.43A 和 2.7A，为了节省成本和缩小体积，可分别用交流中间继电器 KA_1 和 KA_2 替代接触器进行控制。由于快速电动机 M_3 短时运行，故不设过载保护，这样可得到控制 M_2 和 M_3 的主电路，如图 4-7 所示。

② 控制电源的设计。考虑到安全可靠和满足照明及指示灯的要求，采用控制变压器 TC 供电，其一次侧为交流 380V，二次侧为交流 127V、36V 和 6.3V。其中，127V 提供给 KM 和中间继电器 KA_1 及 KA_2 的线圈，36V 交流安全电压提供给局部照明电路，6.3V 提供给指示灯电路，具体接线情况如图 4-7 所示。

③ 控制电路的设计。主轴电动机 M_1：由于机械设备比较大，考虑到操作方便，主轴电动机 M_1 可在机床床头操作板上和刀架拖板上分别设置启动和停止按钮 SB_3 及 SB_1 和 SB_4 及 SB_2 进行操纵，实现两地控制，如图 4-7 所示。

冷却泵电动机 M_2 和快速电动机 M_3：M_2 采用单向启停控制方式，而 M_3 采用点动控制方式，具体电路如图 4-7 所示。

④ 局部照明与信号指示电路的设计。设置照明灯 EL、灯开关 SA 和照明回路熔断器 FU_3，

具体电路如图 4-7 所示。

可设三相电源接通指示灯 HL_2（绿色），在电源开关 QS 接通以后立即发光显示，表示机床电气线路已经处于供电状态。另外，设置指示灯 HL_1（红色）表示主轴电动机是否运行。此两指示灯 HL_1 和 HL_2 可分别由接触器 KM 的常开和常闭触点进行切换通电显示，电路如图 4-7 所示。

在操作板上设有交流电流表 PA，它被串接在主轴电动机的主回路中，用以指示机床的工作电流。这样可根据电动机工作情况调整切削量使主轴电动机尽量满载运行，以提高生产效率，并能提高电动机的功率因数。

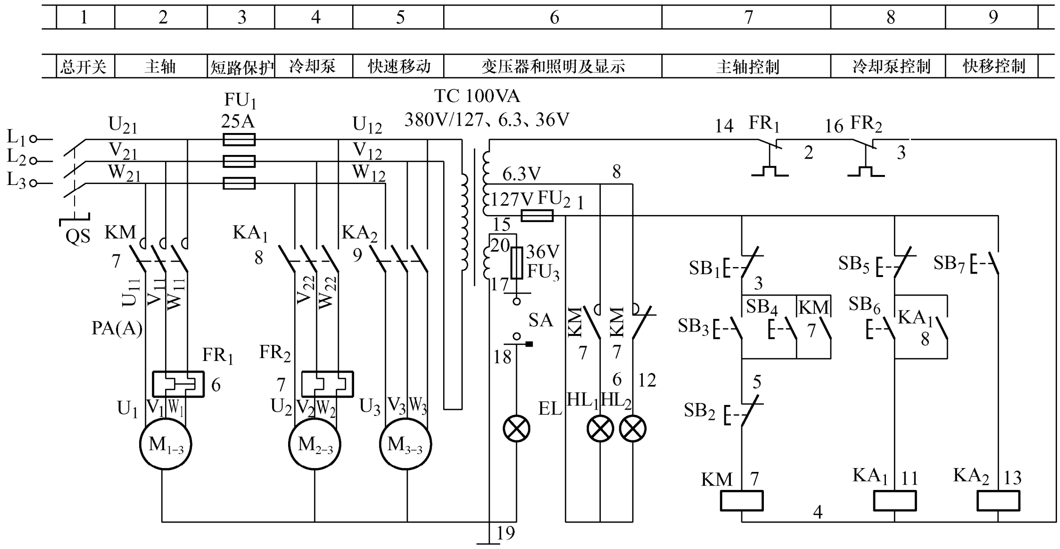


图 4-7　CW6163 型卧式车床电气原理图

（4）电气元件的选择

① 电动机的选择：实际上是在机电设计密切配合下并进行实际实验的情况下定型的。现在我们来进行其他电气元件的选择。

② 电源开关的选择：电源开关 QS 的选择主要考虑电动机 M_1～M_3 的额定电流和启动电流，而在控制变压器 TC 二次侧的接触器及继电器线圈、照明灯和显示灯在 TC 一次侧产生的电流相对来说较小，因而可不作考虑。

已知 M_1、M_2 和 M_3 的额定电流分别为 22.6A 、0.43A 和 2.7A，易算得电流之和为 25.73A，由于只有功率较小的冷却泵电动机 M_2 和快速移动电动机 M_3 为满载启动，如果这两台电动机的额定电流之和放大 5 倍，也不过 15.65A，而功率最大的主轴电动机 M_1 为轻载启动，并且 M_3 短时动作，因而电源开关的额定电流就选 25A 左右，具体选择 QS 为：三极转换开关，HZ10-25/3 型额定电流 25A。

③ 热继电器的选择：根据 M_1 和 M_2 的额定电流，FR_1 应选用 JR0-40 型热继电器，热元件额定电流为 25A，额定电流调节范围为 16～25A，工作时调整为 22.6A。FR_2 应选用 JR0-40 型热继电器，热元件额定电流为 0.4A，额定电流调节范围为 0.4～0.64A，工作时调整为 0.43A。

④ 接触器的选择：因主轴电动机 M_1 的额定电流为 22.6A，控制回路电源电压为 127V，需主触点三对，辅助常开触点两对，辅助常闭触点 KM 应选用 CJ10-40 型接触器，主触点额定电流为 40A，线圈电压为 127V。

⑤ 中间继电器的选择：冷却泵电动机 M_2 和快速电动机 M_3 的额定电流较小，分别为 0.43A

和 2.7A，所以 KA_1 和 KA_2 都可以选用普通的 JZ7-44 型交流中间继电器代替接触器进行控制，每个中间继电器常开、常闭触点各有 4 个，额定电流为 5A，线圈电压为 127V。

⑥ 熔断器的选择：熔断器 FU_1 对 M_2 和 M_3 进行短路保护，M_2 和 M_3 的额定电流分别为 0.43A 和 2.7A，根据多台电动机共用一个熔断器时熔体额定电流的计算公式为

$$I_{FU} \geqslant (1.5\sim2.5)\, I_{Nmax} + \Sigma I_N$$

若取系数为 2.5，算得 $I_{FU} \geqslant 7.18A$，因此可选用 RL1-15 型熔断器，配用 10A 熔体。

熔断器 FU_2 和 FU_3 的选择将同控制变压器的选择结合进行。

⑦ 按钮的选择：三个启动按钮 SB_3、SB_4 和 SB_6 可选择 LA-18 型按钮，颜色为黑色；三个停止按钮 SB_1、SB_2 和 SB_5 也选择 LA-18 型按钮，颜色为红色；点动按钮 SB_7 型号相同，颜色为绿色。

⑧ 照明灯及灯开关的选择：照明灯 EL 和灯开关 SA 成套购置，EL 可选用 JC2 型，交流 36V，40W。

⑨ 指示灯的选择：指示灯 HL_1 和 HL_2，都选用 ZSD-0 型，6.3V、0.25A，分别为红色和绿色。

⑩ 电流表的选择：电流表 PA 可选用 62T2 型，0～50A。

⑪ 控制变压器的选择：控制变压器可实现高、低压电路的隔离，使得控制电路中的电气元件，如按钮、行程开关和接触器及继电器线圈等同电网电压不直接相接，提高了安全性。另外，各种照明灯、指示灯和电磁阀等执行元件的供点电压有多种，有时也需要用控制变压器降压提供。常用的控制变压器有 BK-50、100、150、200、300、400 和 1000 等型号，其中的数字为额定功率（VA），一次侧电压一般为交流 380V 和 220V，二次侧电压一般为交流 6.3V、12V、24V、36V 和 127V。控制变压器具体选用时要考虑所需电压的种类和进行容量的计算。

控制变压器的容量 P 可以根据由它供电的最大负载所需要的功率来计算，并留有一定的余量，这样可得经验公式为

$$P = K\Sigma P_1$$

式中 P_1——电磁元件的吸持功率和灯负载等其他负载消耗的功率；

K——变压器的容量储备系数，一般取 1.1～1.25。

虽然电磁线圈在启动吸合时消耗功率大，但变压器有短时过载能力，故公式中对电磁器件仅考虑吸持功率。

对本实例而言，接触器 KM 的吸持功率为 12W，中间继电器 KA_1 和 KA_2 的吸持功率都为 12W，照明灯 EL 的功率为 40W，指示灯 HL_1 和 HL_2 的功率都为 1.575W，易算得总功率为 79.15W，若取 K 为 1.25，则算得 P 约等于 99W，因此控制变压器 TC 可选用 BK-100VA，380V、220V/127V、36V、6.3V。易算得 KM、KA_1 和 KA_2 线圈电流及 HL_1、HL_2 电流之和小于 2A，EL 的电流也小于 2A，故熔断器 FU_2 和 FU_3 均选用 RL1-15 型，熔体熔断电流为 2A。

4. 电气控制系统的工艺设计

工艺设计的目的是为了满足电气控制设备的制造和使用要求。工艺设计的依据是电气原理图及电气元件目录表。工艺设计时，一般先进行电气设备总体配置设计，而后进行电气元件布置图、接线图、电气箱及非标准零件图的设计，再进行各类元器件及材料清单的汇总，最后还要编写设计说明书和使用说明书，从而形成一套完整的设计技术文件。

（1）电气设备总体配置设计

各种电动机及各类电气元件根据各自的作用，都有移动的装配位置，在构成一个完整的电气控制系统时，必须划分组件，同时要解决组件之间及电气箱与被控制装置之间的接线问题。通常可分成以下几种组件：

① 设备电器组件。拖动电动机与各种执行元件（电磁阀、电磁铁和电磁离合器等）及各种检测元件（行程开关、速度和温度继电器等）必须安装在机械设备相应部位，它们构成了机械设备电器组件。

② 电器板和电源板组件。各种控制电器（接触器、中间继电器和时间继电器等）及保护电器（熔断器、热继电器和过电流继电器等）安装在电气箱，构成一块或多块电器板（主板），而控制变压器及整流、滤波元件也安装在电气箱内，构成电源板组件。

③ 控制面板组件。各种控制开关、按钮、指示灯、指示仪表和需要经常调节的电位器等，必须安装在控制台面板上，构成控制面板组件。

各组件板和机械设备电器相互间的接线一般采用接线端子板，以便接拆。

总体配置设计是以电气系统的总装配图与总线接线图形式来表达的，图中应以示意形式反映出电气部件（如电气箱、电动机组、机械设备电器等）的位置及接线关系，以及走线方式和使用管线要求等。

（2）电气元件布置图的绘制

电气元件布置图是某些电气元件按一定原则的组合。同一组件电气元件的布置应注意：

① 需要经常维护、检修和调整的电气元件的位置不宜过高或过低。

② 体积大和较重的电气元件应安装在电器板的下面（一般电器板在电气箱内垂直安装，以便通风散热、接线和维修），而发热元件应安装在电器板的上面。

③ 电气元件布置不宜过密，对易产生分弧的接触器和自动开关尤其要注意。若采用板前走线槽配线方式，应适当加大各排电器间距，以利布线和维护，同时还应考虑整齐、美观。

④ 原理图中靠近的电气元件，应尽量布置得近些，以缩短接线。

布置图根据电气元件的外形绘制，并标出各元件间距尺寸。每个电气元件的安装尺寸及公差范围，应严格按标准标出，作为底板加工依据，以保证各电器的顺利安装。

在电气布置图设计中，还要根据本组件进出线的数量和采用导线规格，选择进出线方式，并选用适当接线端子板或接插件，按一定顺序标上进出线的接线号。

（3）电气接线图的绘制

电气接线图是根据电气原理图及电气元件布置图绘制的，它一方面表示出各电气组件（电器板、电源板、控制面板和机械设备电器）之间的接线情况，另一方面表示出各电气组件板上电器之间接线情况。因此，它是电气设备安装、进行电气元件配线和检修时查线的依据。

设备上的电器（电动机和行程开关等）可先接线到装在机械设备上的分线盒，再从分线盒接线到电气箱内电器板上的接线端子板上，也可不用分线盒直接接到电气箱。电气箱上的各电器板、电源板和控制面板之间要通过接线端子板接线。接线图的绘制还应注意以下几点：

① 电气元件按外形绘制，并与布置图一致，偏差不要太大。与电气原理图不同，在接线图中同一电气元件的各个部分（线圈、触点等）必须画在一起。

② 所有电气元件及其引线应标注与电气原理图相一致的文字符号及接线回路标号。

③ 电气元件之间的接线可直接连接，也可采用单线表示法绘制，实际含几根线可从电气元件上标注的接线回路数看出来。当电气元件数量较多和接线较复杂时，也可不画各元件间的连线，但是在各元件的各接线端子回路标号处应标注另一元件的文字符号，以便识别，方便接线。电气组件之间的接线也可采用单线表示法绘制，含线数可从端子板上的回路标号数看出来。

④ 接线图中应标出配线用的各种导线的型号、规格、截面积及颜色等。规定交流或直流动力电路用黑线，交流辅助电路为红色，直流辅助电路为蓝色，地线为黄绿双色，与地线连接的电路导线及电路中的中性线用白色线。还应标出组件间连线的护套材料，如橡套或塑套、金属软管、铁管和塑料管等。

对于图 4-7 所示的 CW6163 卧式车床电气原理图，其接线图如图 4-8 所示。

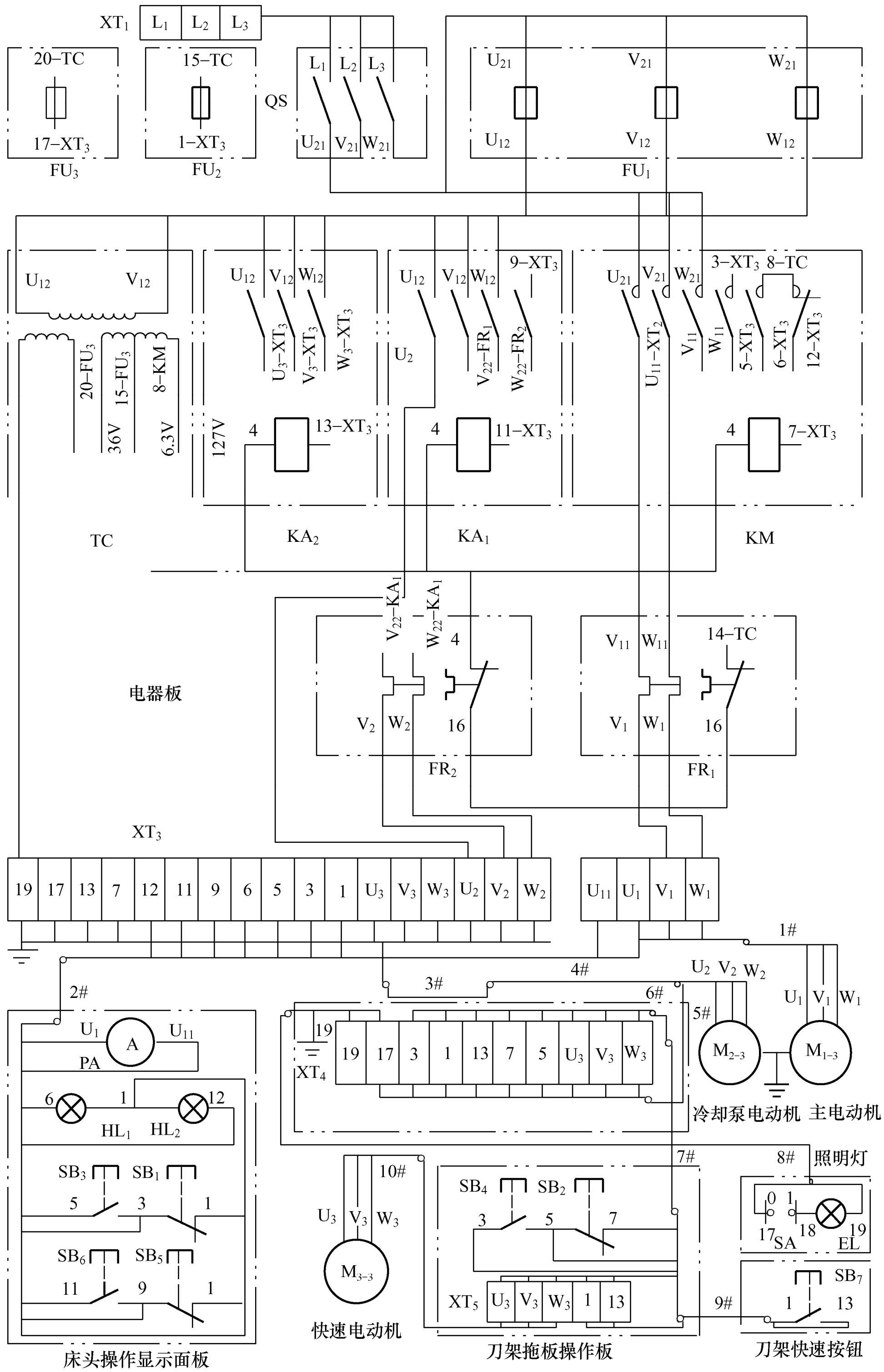


图 4-8　CW616 卧式车床电气接线图

（4）电气箱及非标准零件图的设计

通常，机械设备有单独的电气控制箱。电气箱设计要考虑以下几方面的问题：

① 根据控制面板及箱内各电器板和电源板的尺寸确定电气箱总体尺寸及结构方式。

② 根据各电气组件的安装尺寸，设计箱内安装支架（采用角铁、槽钢和扁铁等）。

③ 从方便安装、调整及维修要求出发，设计电气箱门。为利于通风散热，应设计通风孔或通风槽。为便于搬动，应设计起吊钩、起吊孔、扶手架或箱体底部活动轮。

④ 结构紧凑、外形美观，要与机械设备本体配合和协调，并提出一定的装饰要求。

根据上述要求，先画出箱体外形草图，根据各部分尺寸，按比例画出外形图。而后进行各部分的结构设计，绘制箱体总装配图及各面门、控制面板、底板、安装支架、装饰条等零件图，这些零件一般为非标准零件，要注明加工要求如镀锌、油漆、刻字等，要严格按机械零件设计要求进行设计，所用材料有金属材料和非金属材料。

（5）各类电气元件及材料清单的汇总

在电气系统原理设计及工艺设计结束后，应根据各种图样，对所需的元器件及材料进行综合统计，按类别分别作出元器件及材料清单表，以便供销和生产管理部门进行备料，这些资料也是成本核算的依据。

（6）设计说明书及使用说明书的编写

设计说明书及使用说明书是设计审定及调试、安装、使用和维护过程中必不可少的技术资料。使用说明书应提供给用户。

设计说明书应包括拖动方案选择依据、设计特点、主要参数计算、设计说明书中各项技术指标的核算与评价、设备调试要求与调试方法、使用维护及注意事项等内容。

使用说明书可分为机械和电气两部分，电气部分主要介绍电气结构、操作面板示意图与操作、使用、维护方法及注意事项，还要提供电气原理图和接线图等，以便用户检修。

4.2.3　XA6132 型铣床的电气控制

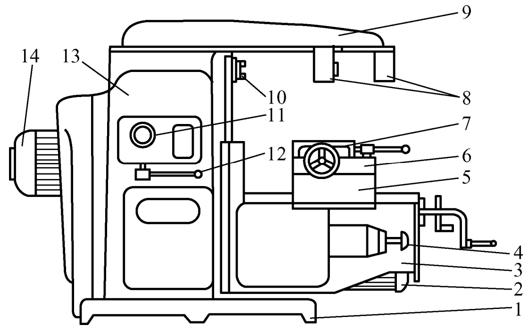
在金属切削机床中，铣床是除车床外使用数量最多的机加设备。铣床的种类很多，按照结构和加工性能，可以分为卧铣、立铣、龙门铣、仿形铣和各种专用铣床。铣床可以用于加工零件的平面、斜面、沟槽及各种成形面。配上分度头还可以加工直齿或螺旋面，装上回转工作台可以加工凸轮和圆弧槽。

1. 卧式铣床的主要结构与运动

卧式铣床用于加工尺寸较小的工件，特别适用于单件小批量生产，用途很广。其结构示意图如图 4-9 所示。其主要组成部件有：底座 1、工作台 7、铣刀架 8、主轴变速箱 13、进给变速箱 3 等。

卧式铣床的主运动是安装在主轴上的铣刀的旋转运动，通过铣刀的旋转运动，对工件实现切削加工。铣削所用的切削刀具为各种形式的铣刀，铣削加工一般有顺铣和逆铣，分别使用刃口方向不同的顺铣刀和逆铣刀。

辅运动：进给运动和冷却泵旋转运动。进给运动分为矩形工作台和回转工作台的进给。



1—底座；2—进给电动机；3—升降台；4—进给变速手柄及变速盘；5—溜板；6—转动部分；7—工作台；8—刀架支架；

9—悬梁；10 主轴；11—主轴变速盘；12—主轴变速手柄；13—主轴变速箱；14—主电动机

图 4-9　X6132A 型铣床外形结构示意图

矩形工作台进给包括垂直（上下）、纵向（左右）、横向（前后）6 个方向的矩形工作台进给。上下进给运动由通过进给箱沿床身导轨上下运动实现，左右进给和前后进给通过工作台上的溜板实现。纵向（左右）由一个手柄实现，垂直（上下）和横向（前后）由另一个手柄实现。进给运动都有工进、快进两种速度。即：

- 速度
  - 工作进给，简称工进
  - 快速进给，简称快进
- 方式方向
  - 圆工作台进给
  - 矩形工作台进给
    - 左右
    - 上下
    - 前后

2. 铣床的控制要求与特点

下面介绍 XA6132 型铣床的控制要求，具体有以下几点：

① 主轴电动机正、反转运行，以实现顺铣、逆铣。

② 主轴具有停车制动，由制动电磁离合器实现。

③ 主轴变速箱在变速时具有变速冲动，即短时点动，以利于变速时的齿轮啮合。

④ 进给电动机正、反转运行。

⑤ 主轴电动机与进给电动机具有联锁，以防在主轴没有运转时，工作台进给损坏刀具或工件。

⑥ 圆工作台进给与矩形工作台进给具有互锁，以防损坏刀具或工件。

⑦ 矩形工作台各进给方向具有互锁，以防损坏工作台进给机构。

⑧ 工作台进给变速箱在变速时同样具有变速冲动。

⑨ 主轴制动、工作台的工进和快进由相应的电磁接通对应的机械传动链实现。

⑩ 具有完善的电气保护。

3. 控制电路分析

XA6132 型铣床的控制电路如图 4-10 所示。控制电路包括主轴电动机启动控制、主轴电动机制动、主轴变速冲动控制、矩形工作台进给控制、圆形工作台进给控制、进给变速冲动控制、工作台快进控制等部分。

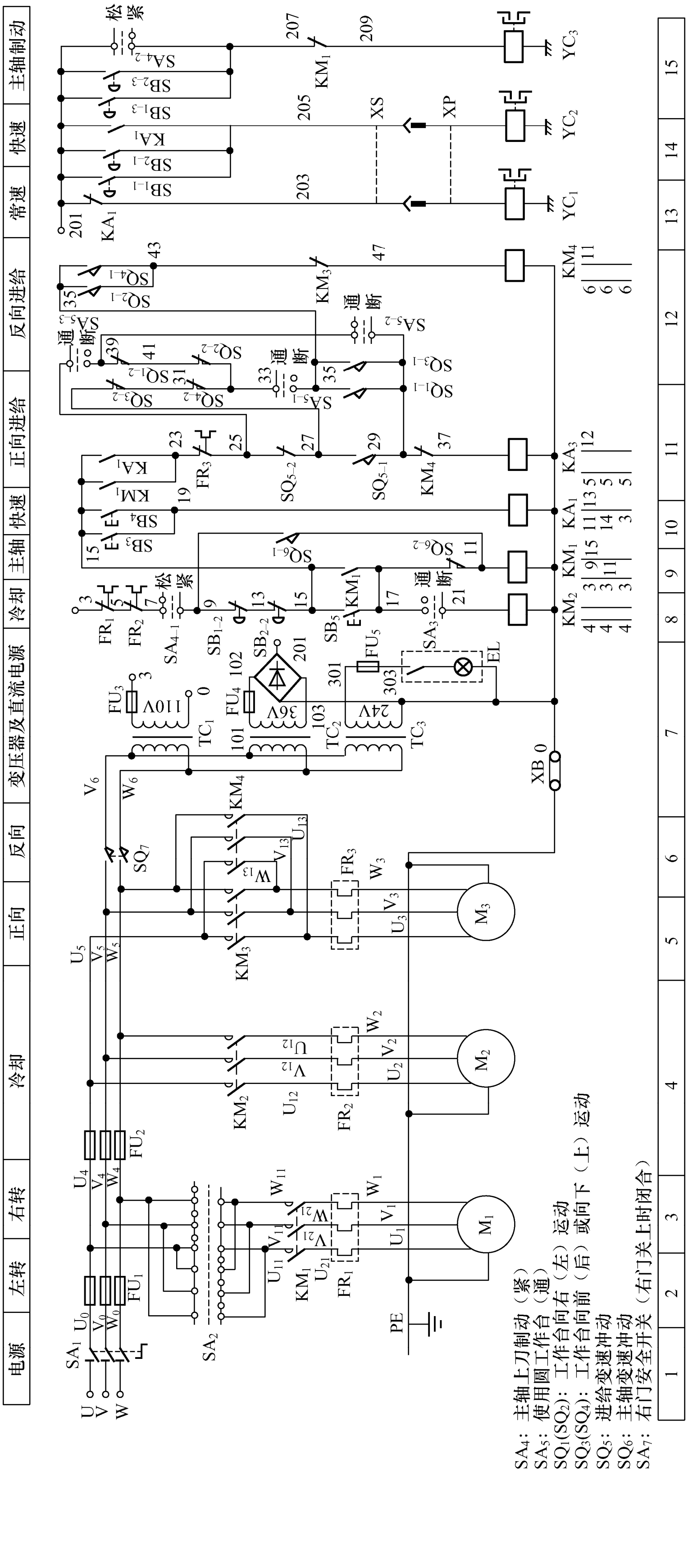


图 4-10　X6132A 型铣床控制电路图

（1）主轴电动机 M_1 启动控制

合上电源开关 QS，经变压器 TC_2、整流桥 VD 到 201、203，直接接通电磁离合器 YC_1，接通工作台工进传动链，准备工进。

将换刀开关 SA_4 搬到运行接通挡（7-9 接通，201-207 断开），按下主轴启动按钮 SB_5，经 3、5、7、9、13、15、17、11，使接触器 KM_1 通电并自锁，接通主轴电动机 M_1 电源，将转换开关（倒顺开关）SA_2 正转或反转，实现顺铣或逆铣。有下述工作过程：

$\downarrow SB_3（SB_4）\rightarrow KM_1^{\oplus}\rightarrow（SA_3）\ M_1^+$

（2）主轴电动机 M_1 制动控制

当主轴电动机 M_1 接通运行时，按下停车制动按钮 SB_1 或 SB_2，9-13-15 断开，接触器 KM_1 释电，主轴电动机 M_1 电源断开，同时 KM_1 的常闭触点复位，停车制动按钮 SB_1 或 SB_2 的常开触点接通，经 201、207、209 接通制动用的电磁离合器 YC_3，实现制动。同时 SB_1 或 SB_2 的另一对常开触点接通 YC_2，加强制动效果。有下述工作过程：

$$\downarrow SB_1（SB_2）\begin{cases} KM_1^- \rightarrow M_1^- \\ \rightarrow YC_3^+ \\ \rightarrow YC_2^+ \end{cases}$$

实现制动。

$\uparrow SB_1（SB_2）\rightarrow YC_3^-\ （YC_2^-）$

制动结束。

在主轴换刀时，为防止意外，同样要使 YC_3 得电，此时，SA_4 搬到换刀档位，7-9 断开、201-207-209 接通，使 YC_3 得电，实现制动。

（3）主轴变速冲动控制

变速冲动的操作过程是：操作者将变速手柄拉出并下压，然后转动变速盘选择合适的速度，再将变速手柄抬起推回。在变速冲动过程中，变速手柄拉出时，变速用的扇形齿轮转动，点动行程开关 SQ_6，其常开触点接通，经 3、5、7、9、11 使接触器 KM_1 短时得电，主轴电动机 M_1 短时转动，从而使主轴传动链短时转动，便于齿轮分开，变速盘选择合适的速度后，将变速手柄推回，同样点动行程开关 SQ_6，使主轴电动机 M_1 短时转动，便于齿轮啮合。其控制过程如下：

$\downarrow SQ_6\rightarrow KM_1^+ \rightarrow M_1^+$

$\downarrow SQ_6\rightarrow KM_1^- \rightarrow M_1^-$

（4）矩形工作台进给控制

当主轴电动机 M_1 启动正常后，接触器 KM_1 得电，15-17-11 接通，才能进行工作台的进给操作，这就是主轴运行与进给联锁。

当主轴电动机 M_1 启动正常、接触器 KM_1 得电后，再将圆工作台—矩形工作台进给选择开关 SA_5 搬到矩形工作台进给挡位，即选择开关 SA_5 处于两通（$25\text{-}39^+$、$33\text{-}35^+$）一断（$39\text{-}29^-$）状态，就可以进行矩形工作台的进给操作了。

将矩形工作台进给的左右进给手柄搬到右，一方面，手柄将会压下行程开关 SQ_1；另一方面，接通向右进给的机械传动链。压下行程开关 SQ_1 时，经 15、23、25、27、31、33、35、37 使接触器 KM_3 得电，进给电动机 M_3 正转，加之电磁离合器 YC_1 已经得电，已接通工作台工进传动链，实现矩形工作台向右工进，其电控过程简示如下：

↓ SQ_1→ KM_3^+ → M_3^+（正转）

同理，将矩形工作台进给的左右进给手柄搬到左，将压下行程开关 SQ_2，电控过程简示如下：

↓ SQ_2→（15-23-25-27-31-33-35-43-47）KM_4^+ → M_3^+（反转）

将矩形工作台进给的上下、前后进给手柄搬到下（或前），一方面，手柄将会压下行程开关 SQ_3；另一方面，接通向下（或向前）进给的机械传动链。电控过程简示如下：

↓ SQ_3→（15-23-25-27-31-33-35-29-37）KM_3^+ → M_3^+（正转）

同理，将矩形工作台进给的上下、前后进给手柄搬到上（或后），将会压下行程开关 ST_4（SQ_4），电控过程简示如下：

↓ ST_4（SQ_4）→（15-23-25-27-31-33-35-43-47）KM_4^+ → M_3^+（反转）

（5）圆工作台进给控制

如同矩形工作台进给一样，圆工作台进给也需要主轴电动机 M_1 的接触器得电正常，才能进行圆工作台进给操作。

在圆工作台进给时，需将矩形工作台进给手柄都搬到中位，否则，不能进行圆工作台进给。这就是圆工作台进给与矩形工作台进给互锁。

将圆工作台—矩形工作台选择开关 SA_5 搬到两断（$25\text{-}39^-$、$33\text{-}35^-$）一通（$39\text{-}29^+$）状态，电气控制线路直接启动圆形工作台的进给。电控过程简示如下：

SA_1^+→（15-23-25-27-31-33-41-39-37）KM_3^+ → M_3^+（正转）

需注意的是：KM_3 得电所经路径为 27-31-33-41-39，即 SQ1～SQ4 的常闭触点。

（6）进给变速冲动控制

与主轴变速冲动控制相似，但此时点动的行程开关是 SQ_5。

（7）工作台快进控制

为了调整对刀，有时需要工作台快速移动，即工作台快进。

将矩形工作台进给手柄搬到对应的进给方向，或圆工作台-矩形工作台进给选择开关 SA_1 搬到圆工作台进给位，按下工作台快进点动按钮 SB_5 或 SB_6，有下述工作过程：

↓SB_3（SB_4）→（3-5-7-9-13-15-19）KA_1^+ →
- → YC_1^-（断开工进传动链）
- → YC_2^+（接通快进传动链）

松开 SB_3 或 SB_4，有下述工作过程：

↓ SB_3（SB_4）→KM_1^- →
- → YC_1^+（断开快进传动链）
- → YC_2^-（接通工进传动链）

（8）冷却泵启动、停止控制

当主轴电动机接触器 KM_1 得电自锁后，合上组合开关 SA_3，即可启动冷却泵，断开组合开关 SA_3，冷却泵停止运行。

（9）电路中的保护措施

① 主轴电动机的保护。

② 控制回路的保护。

③ 进给电动机的保护。

④ 主轴与进给的联锁。

⑤ 矩形工作台各进给方向上的进给互锁保护。

⑥ 矩形工作台进给与圆工作台进给的互锁保护。

（10）电磁离合器简介

电磁离合器靠线圈的通断电来控制离合器的接合与分离。电磁离合器可分为干式单片电磁离合器、干式多片电磁离合器、湿式多片电磁离合器、磁粉离合器、转差式电磁离合器等。电磁离合器的工作方式分为通电结合和继电结合。

4. 故障分析

（1）主轴不能启动运行

主轴不能启动运行，可能原因有：

① 倒顺开关没有合上，或者开路损坏。

② 接触器线圈开路，或其机械卡死不能动作闭合。

③ 启动按钮开路。

（2）工作台不能向右进给

工作台不能向右进给，可能原因有：

① 向右进给压下的行程开关 SQ_1 不能动作，或其触点开路。

② 向右进给的机械传动链损坏。

4.3 XA6132 型铣床控制电路安装

1. 安装与配线

（1）元件安装

步骤及主要要求如下：

① 清点所需元件并进行检查。

② 按图安装元件，并贴上醒目的文字符号。

③ 各元件的安装位置应整齐、匀称，间距合理，便于元件的更换。

④ 紧固各元件时，要用力均匀，紧固程度适当。

（2）控制系统配线

步骤及主要要求如下：

① 按安装接线图进行配线和套线号管。

② 布线应横平竖直、分布均匀，变换走向时应垂直。

③ 布线时严禁损伤线芯和导线绝缘。

④ 在每根剥去绝缘层导线的两端套上线号管，所有从一个接线端子到另一个接线端子的导线必须连续，中间无接头。

⑤ 导线与接线端子连接时不得压绝缘层，也不能露铜过长。

⑥ 一个电气元件接线端子上的连接导线不得多于两根，每节接线端子板上的连接导线一般只允许连接一根。

2. 检查与调试

（1）检查控制线路

步骤及主要要求如下：

① 按电气原理图从电源端开始，逐段核对，有无漏接、错接之处。检查导线接点压接是否牢固。接触应良好，以免带负载运行时产生闪弧现象。

② 用万用表检查线路的通断情况。

③ 用兆欧表检查线路的绝缘电阻应大于 1MΩ。

（2）通电调试控制线路

步骤及主要要求如下：

① 通电试车前，必须征得教师同意，并由教师接通电源，同时在现场监护。

② 在通电试车时，一人监护，一人操作。

③ 出现故障后，学生应独立进行检修。若需带电进行检查时，教师必须在现场监护。

④ 通电试车完毕后切断电源，拆线时应注意先拆除电源线。

3. 评分标准

控制线路装调学习情况评估表

项目内容	分值	评分标准	成绩	备注
电动机、电气元件检查	10 分	电动机质量未检出扣 5 分 电气元件质量未检出扣 2 分		
安装元件	10 分	不按图安装扣 20 分 元件安装不牢固，每处扣 5 分 元件安装不整齐、不匀称、不合理，每处扣 4 分 损坏元件扣 20 分		
接线工艺	30 分	不按原理图接线扣 20 分 错、漏、多接线一处扣 5 分 按钮引出线多一根扣 5 分 按钮开关颜色错误扣 5 分 接点不符合要求，每个点扣 2 分 损伤导线绝缘或线芯，每处扣 4 分 导线使用错误，每根扣 3 分 配线不美观、不整齐、不合理，每处扣 2 分 漏接接地线扣 10 分		
通电试车	20 分	第一次通电试车不成功扣 10 分 第二次不成功扣 20 分		
安全、文明生产	10 分	违反安全、文明生产扣 5～10 分		
工时	10 分	按照规定时间，每超过 1 学时扣 5 分		
报告及总结	10 分	酌情评分		
合计				

4. 填写调试记录

习　题　4

1．摇臂不能升降，可能有哪些原因？

2．钻床按其结构形式可分为哪些类型？

3．铣床的控制要求与特点。

项目 5

为用户定制低压配电箱

5.1 学习任务及要求

1. 培训对象说明

凡参加本课程学习的电气自动化类专业的学生。

2. 培训内容

① 低压配电柜项目的设计流程。
② 项目涉及的各种技术文档编写。
③ 元件安装及配线。
④ 设备的调试和检验的步骤及方法。

3. 目标要求

① 学员掌握项目设计的流程和工作内容。
② 学员能根据用户的要求编写技术协议。
③ 学员能够绘制原理图、机构图、安装图等技术图纸。
④ 学员能够计算并选择合适的元器件。
⑤ 学员能够按照国家标准规范安装元件并配线。
⑥ 学员能够编写调试说明，并按说明的内容完成系统调试。
⑦ 学员能够完成技术文档的归档工作。

4. 学时要求

在 18 个学时之内完成整个培训项目。

5. 需准备的资料

① 有关电气元件方面的资料。
② 《维修电工实训教程》。

6. 预习要求

① 阅读电气元件方面的资料。
② 阅读《维修电工实训教程》。

③ 阅读国家/行业相关规范与标准。

7. 重点或难点

① 绘制电气原理图。
② 电气元件型号的选择。
③ 编写使用手册。

8. 学习方法建议

① 收集需准备的资料。
② 预习基础知识，重点是电工安全用电基本知识、常用工具及仪表的使用、电工基本技能、电气技术培训车间相关规章制度。
③ 听理论知识讲解时，注意联系实际工作中遇到的问题。

5.2 知识链接

对于一个工程项目而言，要完成它必须经历很多的步骤，下面我们先来了解一下完成工程项目的步骤和每一步的具体工作内容。

第一步：正确理解用户提出的设计要求，编写技术协议。

在这个工程过程中，应该多和用户进行沟通，充分了解用户的要求，并从专业的角度给予用户一定的建议；在真正理解用户的要求之后，将这些内容写进技术协议书中。

技术协议书一般包含商务部分和技术部分。商务部分主要从商业角度明确与用户之间的权利和义务关系，如价格的多少、如何付款、质保期是多长、违约有什么处罚等；而技术部分主要从产品本身技术角度明确提供产品或服务的规格、范围等。

我们这里主要介绍技术部分协议内容的编写，而这部分内容一般作为商务协议的一个附件存在于合同之中，一般包括以下几个部分：设备的规格、型号、外观尺寸、执行标准、设备包装、涂漆等。

第二步：绘制原理图。

按照技术协议书中的要求，完成系统原理图的设计，如果用户提供了原理图，这个步骤则可以省略。

第三步：根据线路负载要求选择元件，确定元件清单。

原理图完成之后，就可以确定系统中将要使用的元件种类了。根据系统各线路的负载要求，可以计算出元件的负荷大小，根据负荷大小和选型手册可以确定元件的具体品牌和型号，将元件型号写入元件清单中，如表 5-1 所示。

表 5-1 元件清单

序号	名称	型号	单位	数量	作用

第四步：根据元件外形尺寸绘制元件安装图和布置图。

元件的外形参数也可以在选型手册中查到，根据这些参数，我们可以完成系统的安装图和布置图。

第五步：按图安装、接线。

按照设计图纸将元件安装到控制柜中，并完成配线工作。

第六步：编写调试手册，并按手册完成产品调试。

参考技术协议编写调试手册，调试过程必须包含所有的元件和所有的功能；再按照编好的调试手册调试产品，并填写调试记录表。

第七步：将所有技术文档归档。

将项目中的设计图纸、元件清单、检验报告、产品合格证、使用说明书、调试记录等文件整理成册，于移交设备时提供给用户。

5.2.1　配电装置的基本要求

1. 配电装置的检查

（1）母线颜色标志

① 三相交流电母线：L_1 相，黄色；L_2 相，绿色；L_3 相，红色。

② 单相交流母线与引出相颜色相同。单立的单相母线：一相为黄色；一相为红色。

③ 直流母线：正极，赭色；负极，蓝色。

④ 直流均衡汇流母线和交流中性汇流母线：不接地者，紫色；接地者，紫色带黑色条纹。

⑤ 封闭母线：母线外表面和外壳内表面，无光泽黑色；外壳外表面，无光泽灰色。

⑥ 模拟母线涂色的规定如表 5-2 所示。

表 5-2　模拟母线涂色的规定

电压/kV		颜　色	电压/kV		颜　色
直流		褐	交流	6	深蓝
交流	0.22	深灰		10	绛红
	0.38	黄褐		13.8～8	浅绿
	3	深绿		35	鲜黄

（2）判断带电状态

配电装置中的电气设备是否带电，可用下列方法来判断：

① 有明显断开点的开关，可从分闸或合闸状态清楚地区分是否断电。对于油断路器，可从操作机构的指示牌上看出其实际位置，而有时因指示牌松动造成指示失误，应结合相关的隔离开关来判断。

② 从电压表的指示可以判断电气设备是否带电，但要注意仪表是否失灵，接线是否正确，以免造成误判断。

③ 从信号灯显示来判断电气设备是否带电。

④ 用验电器或试电笔直接测试，但验电器或试电笔的电压等级必须与所测试电气设备或线路的电压等级相符。

（3）检查和试验

送电前对高、低压电气设备应进行下列检查和试验：

① 对高、低压电气装置和绝缘油进行耐压试验。

② 测量各元器件的绝缘电阻，核对各相是否正确。

③ 检查触点的接触情况是否良好，各种开关的接通和断开动作是否正确。

④ 熔断器的熔体是否符合规定。

⑤ 断电保护装置的动作是否正常，联锁装置是否可靠。

⑥ 接地装置是否符合要求。

⑦ 信号和指示装置的显示是否正确，直流系统是否可靠。

⑧ 安全用具和消防器材是否齐全。

（4）母线检查

① 清扫母线上的粉尘和污垢。

② 测量母线的绝缘电阻，一般 0.4kV 母线的绝缘电阻应不小于 10MΩ；6～10kV 母线的绝缘电阻应不小于 200MΩ。

③ 检查母线是否完整无损，紧固是否牢靠，观察绝缘子有无损伤现象。

④ 检查接头接触情况是否良好。

⑤ 检查母线上的油漆有无剥落，在检修中消除的变色漆或示温蜡片应贴补齐全。

2. 配电装置的距离

（1）屋外高压配电装置的允许距离

屋外高压配电装置的各项主要间隔距离应不小于表 5-3 所列数值。

表 5-3　屋外高压配电装置的允许距离　（mm）

额定电压/kV		10	20	35	60	110	154	220
不同相的导体间及带电部分至接地部位间		200	300	400	600	1000	1400	2000
带电部分至网状遮栏		250	300	400	600	1000	1400	2000
带电部分至栅栏		1000	1000	1000	1250	1750	2000	2500
无遮栏裸导体至地面高度		3000	3000	3000	3250	3750	4000	4500
不同时停电检修的无遮栏裸导体间	水平距离	2000	2000	2000	2500	3000	3500	4000
	垂直距离	1000	1000	1000	1250	1750	2000	2500

（2）屋内高压配电装置的允许距离

屋内高压配电装置的各项主要间隔距离应不小于表 5-4 所列数值。

表 5-4　屋内高压配电装置的允许距离　（mm）

额定电压/kV	1～3	6	10	20	35	60	110
不同相的导体间及带电部分至接地部分间	75	100	125	180	290	460	800
带电部分至无孔遮栏	105	130	155	210	320	490	830
带电部分至网状遮栏	175	200	225	280	390	560	900

续表

额定电压/kV	1～3	6	10	20	35	60	110
带电部分至栅栏	500	500	500	700	800	1000	1300
无遮栏裸导体至地（楼）板高度	2500	2500	2500	2750	2750	3000	3500
不同时停电检修无遮栏裸导体间	2000	2000	2000	2200	2200	2500	3000
架空出线至地面	4500	4500	4500	4750	4750	5500	5500
架空出线至屋顶	2750	2750	2750	2750	2750	3750	3750

（3）屋内低压配电装置的距离

屋内低压配电装置的距离如表 5-5 所示。

表 5-5　屋内低压配电装置的距离　（mm）

<table>
<tr><th colspan="2">名　　称</th><th>距　　离</th><th colspan="2">名　　称</th><th>距　　离</th></tr>
<tr><td rowspan="2">不同极性的裸导体间及至接地部分间</td><td>沿绝缘表面的距离</td><td>30</td><td rowspan="5">正面或后面的维护通道</td><td>通道净宽度</td><td>800</td></tr>
<tr><td>空气中距离</td><td>15</td><td>通道净高度</td><td>1900</td></tr>
<tr><td rowspan="3">由裸导体至</td><td>栏杆或保护网</td><td>100</td><td rowspan="2">通道门宽度</td><td rowspan="2">750</td></tr>
<tr><td>可拆卸的遮蔽式围栅</td><td>50</td></tr>
<tr><td>外人能触及的网状围栅</td><td>700</td><td>通道门高度</td><td>1900</td></tr>
</table>

3. 要求

① 隔离开关和相应的开关间应有联锁装置，确保高压隔离开关只有在同一电路的高压断路器分闸的情况下才能进行操作，以防止高压隔离开关带负荷误操作。

② 选用电气设备时，除了按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择外，还应按可能最大的短路电流所产生的电动效应和热效应（即动稳定和热稳定）来校验。

③ 若在电压互感器的二次侧回路可能另有电源时，而它的二次回路应用连动的辅助接头和一次回路的开关设备同时切开。

④ 连在一起的配电装置，应使各回路的相序排列一致。

⑤ 用熔断器保护的电气设备，可不进行短路电流的校验。

⑥ 不允许照明、电信和信号线路在屋外配电装置导电部分的上面或下面架空跨越或穿过。

⑦ 低压配电装置，除熔断器、断路器及所保护的电器及导体不校验其短路动稳定和热稳定外，其他选择校验条件与高压电气设备相似，如低压电气设备也要按其正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择。

5.2.2　低压配电装置的安装与维护

低压配电箱有开关厂或电器厂制造的成套配电箱和自制的非成套配电箱。非成套配电箱有明式和暗式两种。

1．低压木配电箱的制作

木配电箱的制作分配电板（盘面）和箱体两大部分。木制配电板的形式很多，如图 5-1 所示就是其中一种形式。

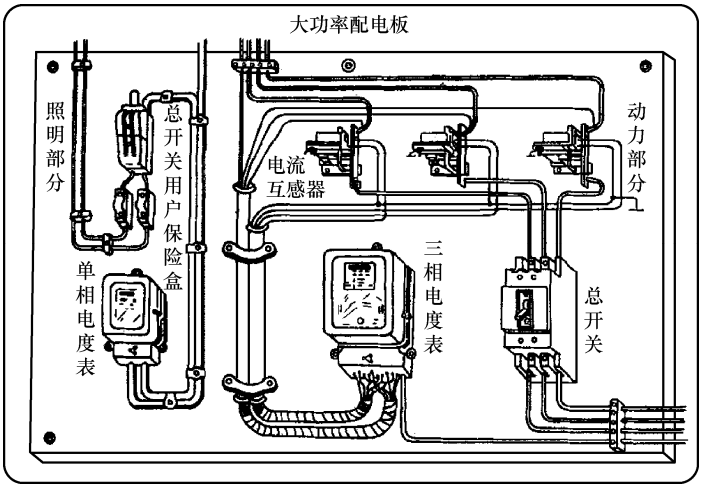


图 5-1　木制配电板

木制配电板的木板应选用厚 25mm 以上、质地良好的木板，并涂上防潮漆。

木制配电板的制作主要根据设计的配电箱回路数和电气设备布置来决定。木制配电板上各电器之间必须有一定的间距，如图 5-2 和表 5-6 所示。

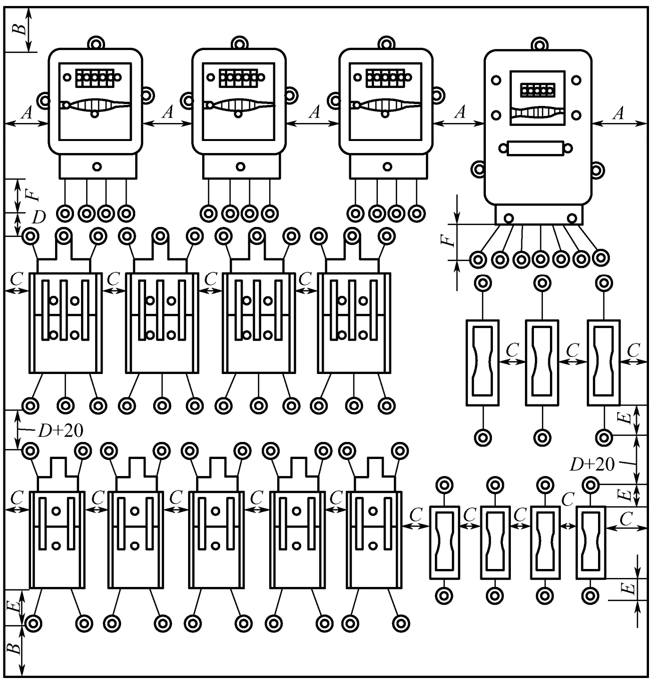


图 5-2　木制配电板电气元件的排列间距

表 5-6　木制配电板电气元件的间距　　　　　　　　　　　（mm）

间　　距	最 小 尺 寸		
A	60 以上		
B	50 以上		
C	30 以上		
D	20 以上		
E	电器规格	10～15A	20 以上
		20～30A	30 以上
		60A	50 以上
F	80 以上		

木制配电箱的尺寸主要取决于配电板的尺寸。木制配电箱有木制明式配电箱和木制暗式配电箱两种。

2. 低压成套配电箱

（1）XL-10 型动力配电箱

XL-10 型动力配电箱系户内装置、防尘式，采用钢板结构。内装组合开关及 RL1 系列或 RT0 系列熔断器，组合开关的手柄露在箱壳外。箱正面的下部有门，门开启后可更换熔断器。其适用于工厂车间，交流 380/220V、50Hz 的三相四线制电力系统中控制电动机、电气设备及照明等。

XL-10 型动力配电箱外形及安装如图 5-3 所示。

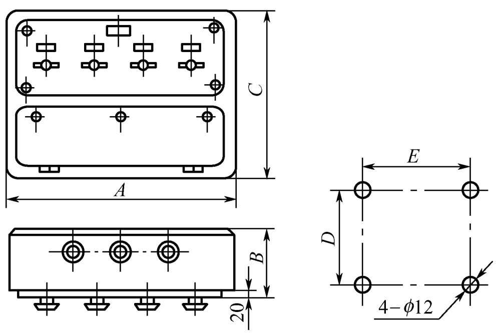


图 5-3　XL-10 型动力配电箱外形及安装图

XL-10 型动力配电箱的安装尺寸如表 5-7 所示。

表 5-7　XL-10 型动力配电箱的安装尺寸

型　　号	安 装 尺 寸					组合开关型号	数量	熔断器型号	数量
	A	*B*	*C*	*D*	*E*				
XL-10-1/15	300	540	210	465	225	Hz10-25/3	1	RL1-15	3
XL-10-1/35	340	630	235	555	265	Hz10-60/3	1	RL1-60	3
XL-10-1/60	340	630	248	555	265	Hz10-100/3	1	RT0-100	3
XL-10-2/15	440	540	210	465	365	Hz10-25/3	2	RL1-15	6

续表

型　　号	安 装 尺 寸					组合开关型号	数量	熔断器型号	数量
	A	B	C	D	E				
XL-10-2/35	505	630	235	555	430	Hz10-60/3	2	RL1-60	6
XL-10-2/60	505	630	248	555	430	Hz10-100/3	2	RT0-100	6
XL-10-3/15	570	540	210	465	495	Hz10-25/3	3	RL1-15	9
XL-10-3/35	670	630	235	555	595	Hz10-60/3	3	RL1-60	9
XL-10-3/60	670	630	248	555	595	Hz10-100/3	3	RT0-100	9
XL-10-4/15	740	540	210	465	665	Hz10-25/3	4	RL1-15	12
XL-10-4/35	835	630	235	555	760	Hz10-60/3	4	RL1-60	12
XL-10-4/60	835	630	248	555	760	Hz10-100/3	4	RT0-100	12

（2）XL（F）-15 型动力配电箱

XL（F）-15 型动力配电箱系户内装置，箱体可分保护式、防尘式两种，用薄钢板弯制焊接而成。箱门上装有一只电压表，指示汇流母线电压。打开箱门，箱内全部电器敞露，便于检修，RTO 系列熔断器装在由角钢焊成的框架上，框架用螺钉固定在箱壳上。其用作工厂作为 500V 以下的三相交流系统动力配电等。

XL（F）-15 型动力配电箱外形及安装如图 5-4 所示。

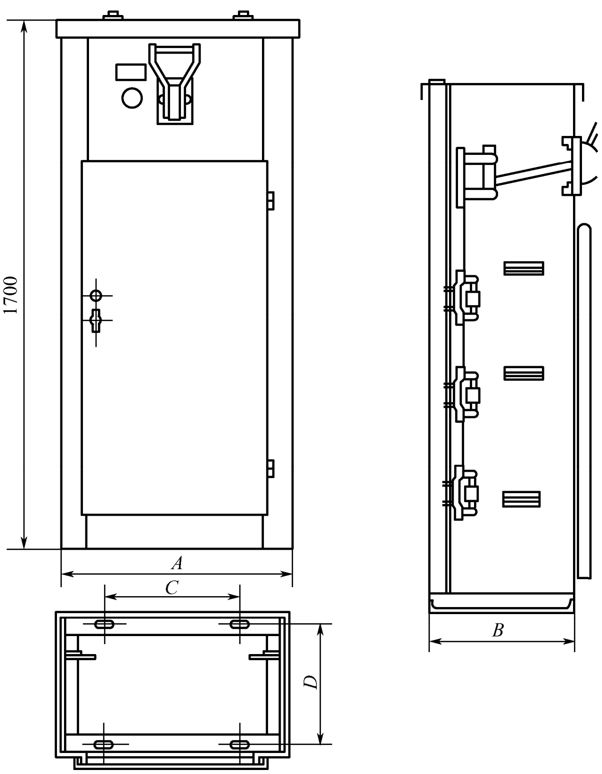


图 5-4　XL（F）-15 型动力配电箱外形及安装图

XL（F）-15 型动力配电箱安装尺寸如表 5-8 所示。

表 5-8　XL（F）-15 型动力配电箱安装尺寸

型号	刀开关额定电流/A	回路数	安装尺寸/mm				回路数×该回路额定电流/A
			A	*B*	*C*	*D*	
XL（F）-15-2200	400	4	500	370	346	300	2×60+2×100
XL（F）-15-2020							2×60+2×100
XL（F）-15-0040							4×200
XL（F）-15-0202							2×100+2×400
XL（F）-15-0042		6	700	370	496	300	4×200+2×400
XL（F）-15-6000							6×60
XL（F）-15-0060							6×200
XL（F）-15-0420							4×100+2×400
XL（F）-15-2220							2×60+2×100+2×20
XL（F）-15-8000		8					8×60
XL（F）-15-0800							8×100
XL（F）-15-3500							3×60+5×100
XL（F）-15-5300							5×60+3×100
XL（F）-15-6200							6×60+2×100
XL（F）-15-6020							6×60+2×200
XL（F）-15-5030							5×60+3×200
XL（F）-15-0620							6×100+2×200
XL（F）-15-4040							4×60+4×200
XL（F）-15-4220							4×60+2×100+2×200
XL（F）-15-0080							8×200

（3）XL（R）-20 型动力配电箱

XL（R）-20 型动力配电箱系户内装置，有嵌入式、挂墙式两种。箱体用薄钢板弯制焊接成封闭形，主要有箱、面板、低压断路器、母线及台架等。面板可自由拆下，面板上开有小门。其主要用于工厂交流 500V 以下、50Hz 三相三线及三相四线电力系统，作动力配电用，有过载及短路保护。

XL（R）-20 型动力配电箱外形及安装尺寸如表 5-9 和图 5-5 所示。

表 5-9　XL（R）-20 型动力配电箱外形及安装尺寸

型　　号	低压断路器数量		安装尺寸/mm			主母线允许载流量/A
	DZ10-100	DZ10-250	*A*	*B*	*C*	
XLR-20-1-1		1				470（250）
XLR-20-2-1	4		600	500	456	470（350）
XLR-20-3-1	8		800	700	656	470（350）
XLR-20-3-2	4	1	800	700	656	470（350）
XLR-20-3-3	2	2	800	700	656	470（350）
XLR-20-4-1	12		1000	900	856	530（350）

续表

型　　号	低压断路器数量		安装尺寸/mm			主母线允许载流量/A
	DZ10-100	DZ10-250	*A*	*B*	*C*	
XLR-20-4-2	8	1	1000	900	856	530（350）
XLR-20-4-3	6	2	1000	900	856	530（350）
XLR-20-4-4	2	3	1000	900	856	530（350）

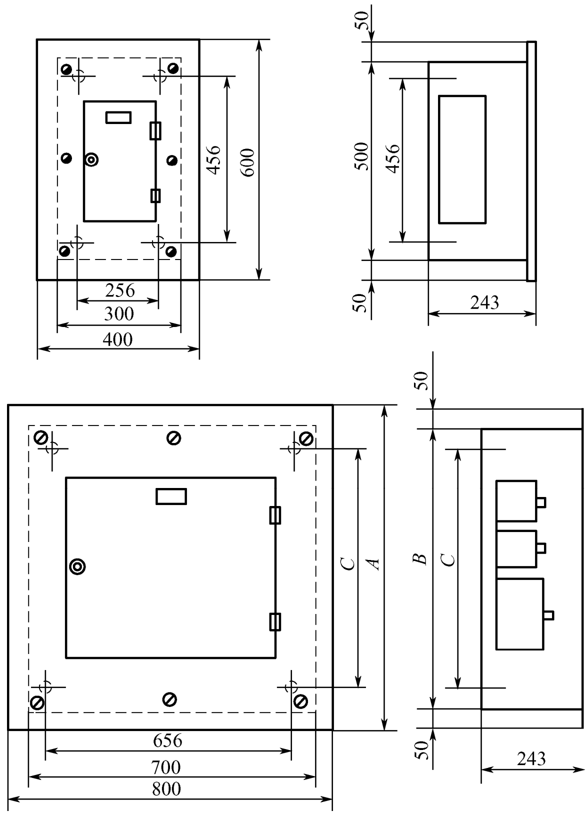


图 5-5　XL（R）-20 型动力配电箱外形图

（4）注意事项

为了防止木制配电板因电火花烧伤，根据电流值和使用情况的不同，按下列情况确定加包铁皮。

① 平时操作不频繁的一般照明配电盘，其额定电流在 60A 以下的可不包铁皮，但对操作较频繁的照明配电板，均应包铁皮。

② 动力配电盘的额定电流在 30A 及以上者要加包铁皮，在 30A 以下及盘上装有铁壳开关时可不包铁皮。

③ 凡安装在重要负荷及易燃场所的配电盘，不论其电流大小均应采用铁盘或木盘包铁皮。

④ 需加包铁皮的配电箱，其包铁皮的部位为盘板的前后两面，箱身及箱内壁不包铁皮。

配电盘上装有计量仪表、互感器时，二次侧的导线使用截面积不小于 1.5mm^2 的铜芯导线。

盘后导线应按相位颜色套上软塑料套管，A 相用黄色，B 相用绿色，C 相用红色，零线用黑色。

导线穿过盘面时，木盘需套瓷管头，铁盘需装橡胶护圈。工作零线穿过木盘面时，可不加瓷管头，只套以塑料管。

配电盘上的刀开关、熔断器等设备，上端接电源、下端接负荷。横装的插入式熔断器等应在面对配电盘的左侧接电源，右侧接负荷。

零线系统中的重复接地应作在引入线处，在末端配电盘上也应作重复接地。

零母线在配电盘上不得串接。零线端子板上分支路的排列需与相应的熔断器对应，面对配电盘从左到右编排 1、2、3、……

5.2.3　故障条件下的触电防护

由于配电箱是操作人员经常接触到的设备，所以要特别注意防止触电。

1. 根据电气设备防电击方式的不同，电气设备分为四类

① 0 类设备。具有可导电的外壳，只有单一的基本绝缘，且无保护线端子，当基本绝缘损坏时，外壳呈现故障电压。0 类设备只能在对地绝缘的环境中使用，或用隔离变压器等安全电源供电。

② Ⅰ类设备。和 0 类设备相同，但其外露导电部分上配置有连接保护线的端子。在工程设计中对此类设备需用保护线与它作接地连接，并在电源线路装设保护电器，使其在规定时间内切断故障电路。

③ Ⅱ类设备。除基本绝缘外，还增设附加绝缘以组成双重绝缘，或设置相当于双重绝缘的加强绝缘，或在设备结构上作相当于双重绝缘的等效处理，使这类设备不会因绝缘损坏而发生接地故障。因此在工程设计中不需再采取防护措施。

④ Ⅲ类设备。额定电压采用 50V 及以下的特低电压，此电压与人体的接触不致造成伤害。在工程设计中常用一次侧为 380V 或 220V 的隔离变压器供电。

2. 基本要求

（1）接触电压限值和切断故障电路时间的要求

Ⅰ类设备自动切断故障电路防间接电击措施的保护原理在于当设备绝缘损坏时，尽量降低接触电压值，并限制此电压对人体的作用时间，以避免导致电击事故。为防电击，正常环境中当接触电压超过 50V 时，应在规定时间内切断故障电路。在配电线路保护中称为接地故障保护，以区别于一般的单相短路保护。

自动切断故障电路保护措施的设置要求，应注意与下述条件相适应：

① 电气装置的系统接地形式（TN、TT 或 IT 系统）。

② 电气回路中保护线的截面。

③ 电气设备的使用状况（固定式、手握式或移动式）。

（2）接地和总等电位联结

接地和总等电位联结都是降低建筑物电气装置接触电压的基本措施。外露导电部分应通过 PE 线接地，其作用已为人所熟知。总等电位联结的作用在于使各导电部分及地面的电位趋于接近，从而降低接触电压。总等电位联结还具有另一个重要作用，即它能消除或降低自外部窜入建筑物电气装置内的危险电压。如果建筑物或装置内未作总等电位联结，或位于总

等电位联结作用区以外，则应补充其他保护措施。

在电气装置或建筑物内，不论采用何种接地系统，应将下列导电部分互相联结，以实施总等电位联结。

① 进线配电箱的保护母线或端子。

② 接往接地极的接地线。

③ 金属给、排水干管。

④ 煤气干管。

⑤ 暖通和空调立管。

⑥ 建筑物金属构件。

建筑物金属构件和各种金属管道有多点自然接触，如有具体困难，视情况也可不联结。一般在进线处或进线配电箱近旁设接地母排（端子板），将上述联结线汇接于此母排上，如图 5-6 所示。

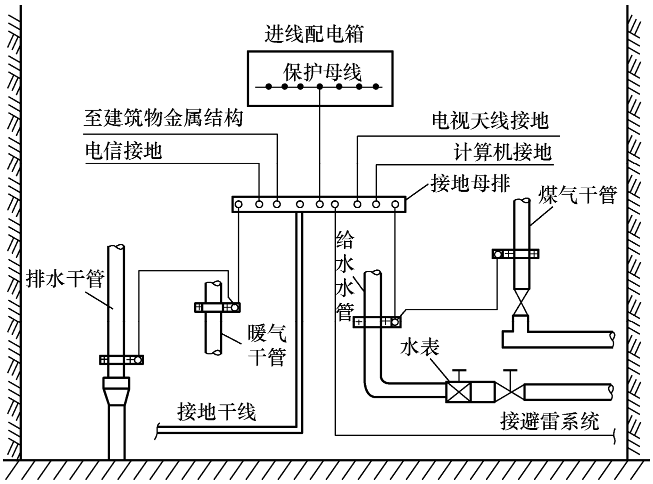


图 5-6　总等电位联结

（3）清单

作总等电位联结后，如果电气装置或其一部分在发生接地故障时，其接地故障保护不能满足前述接触电压限值或切断故障电路时间要求时，应在局部范围内作局部等电位联结，即将该范围内上述相同部分互相联结。其联结方法可用等电位联结母线汇接，也可在伸臂范围内将可同时触及的导电部分互相直接联结。

3. TN 系统

1）对保护电器动作特性的要求

TN 系统的接地故障为金属性短路时，其保护电器的动作特性应符合下式：

$$Z_S I_{op} \leqslant U_O$$

式中 Z_S———接地故障回路阻抗（Ω），它包括故障电流所流经的相线、保护线和变压器的阻抗，故障处因被熔焊，故不计其阻抗；

I_{op}———保证保护电器在规定的时间内自动切断故障电路的动作电流（A）；

U_O———相线对地标称电压，为 220V。

TN 系统允许最大切断接地故障回路时间如表 5-10 所示。

表 5-10　TN 系统允许最大切断接地故障回路时间

回 路 类 别	允许最大切断故障回路时间（s）
配电线路或给固定式电气设备供电的末端回路	5①
插座回路或给手握式或移动式电气设备供电的末端回路	0.4②

注：① 5s 的切断时间考虑了防电气火灾及电气设备和线路绝缘的热稳定要求，也考虑了躲开大电机启动时间和故障电流小时保护电器动作时间长等因素。

② 0.4s 的切断时间考虑了总等电位联结的作用、相线与保护线不同截面比及电源电压±10%变化等因素。

2）常用的 TN 系统

TN 系统中常用的有 TN-C、TN-S 和 TN-C-S 系统，如图 5-7 所示。

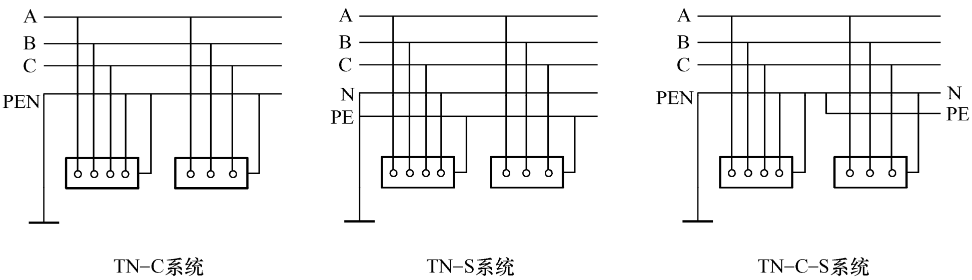


图 5-7　TN 系统

（1）TN-C 系统

它是用工作零线兼作接零保护线，可以称为保护性中性线，可用 NPE 表示。这种供电系统的特点如下：

① 由于三相负载不平衡，工作零线上有不平衡电流，对地有电压，所以与保护线所连接的电气设备金属外壳有一定的电压。

② 如果工作零线断线，则保护接零的漏电设备外壳带电。

③ 如果电源的相线碰地，则设备的外壳电位升高，使中性线上的危险电位蔓延。

④ TN-C 系统干线上使用漏电保护器时，工作零线后面的所有重复接地必须拆除，否则漏电开关合不上；而且，工作零线在任何情况下都不得断线。所以，实用中工作零线只能让漏电保护器的上侧有重复接地。

⑤ TN-C 方式供电系统只适用于三相负载基本平衡的情况。

（2）TN-S 系统

它是把工作零线 N 和专用保护线 PE 严格分开的供电系统，称为 TN-S 供电系统。TN-S 供电系统的特点如下：

① 系统正常运行时，专用保护线上没有电流，只是工作零线上有不平衡电流。PE 线对地没有电压，所以电气设备金属外壳接零保护是接在专用的保护线 PE 上，安全可靠。

② 工作零线只用作单相照明负载的回路。

③ 专用保护线 PE 不许断线，也不许进入漏电开关。

④ 干线上使用漏电保护器时，工作零线不得有重复接地，而 PE 线有重复接地，但是不经过漏电保护器，所以 TN-S 系统供电干线上也可以安装漏电保护器。

⑤ TN-S 方式供电系统安全可靠，适用于工业与民用建筑等低压供电系统。

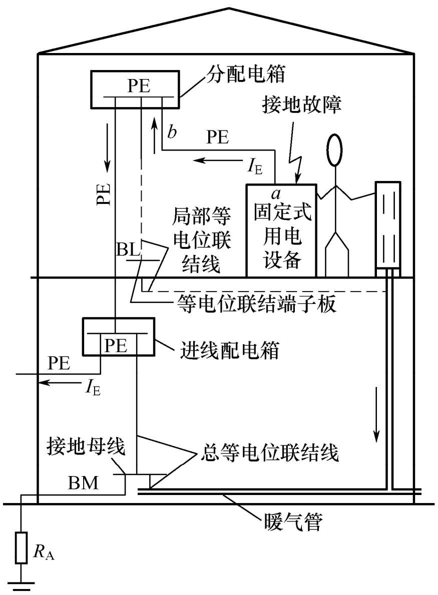
（3）TN-C-S 系统

在用电设备临时供电时，如果前部分是 TN-C 方式供电，而工作现场必须采用 TN-S 方式供电系统，则可以在系统后部分现场总配电箱中分出 PE 线。这种系统称为 TN-C-S 供电系统。TN-C-S 供电系统是在 TN-C 系统上临时变通的做法。当在三相电力变压器工作接地情况良好、三相负载比较平衡时，TN-C-S 系统在施工用电实践中效果还是可行的。但是，在三相负载不平衡、现场有专用的电力变压器时，必须采用 TN-S 方式供电系统。

3）一般环境中局部等电位联结应用示例

① 当配电线路较长，故障电流较小，过电流保护动作时间超过规定值时，可不放大线路截面以缩短动作时间，而以作局部等电位联结代之。

局部等电位联结降低接触电压如图 5-8 所示。



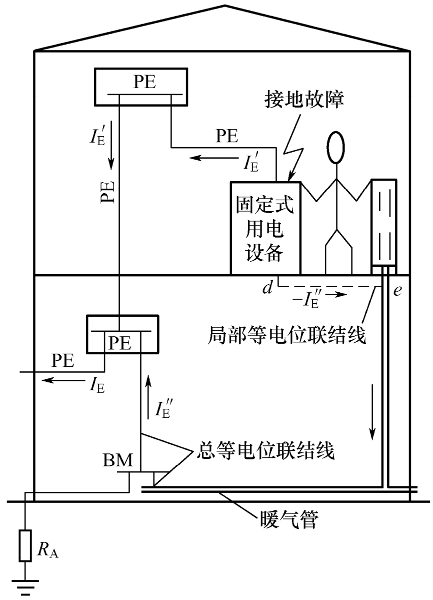


图 5-8　局部等电位联结降低接触电压

② 如果同一配电盘既供电给固定式设备，又供电给手握式或移动式设备。当前者发生接地故障时，引起的危险故障电压将通过保护线蔓延到后者的金属外壳，而前者的切断故障时间可达 5s，这可能给后者的使用者带来危险。

4）相线与大地短路危害的防止

当相线与大地间发生直接短路故障时，由于故障点阻抗较大，故障电流 I_E 较小，线路首端的过流保护电器往往不能动作，使 I_E 持续存在。I_E 在电源的接地极上将产生电压降 I_ER_B，此电压即电源中性点对地的故障电压。此故障电压将沿保护线蔓延至用电设备的外壳上。

相线对大地短路引起的对地故障电压如图 5-9 所示。

5）保护电器的选用

TN 系统的接地故障多为金属性短路，故障电流较大，可利用原来作过负荷保护和短路保护的过电流保护电器（熔断器、低压断路器）兼作接地故障保护，这是 TN 系统的优点。但在某些情况下，如线路长、导线截面小的情况，过电流保护电器常不能满足规定的切断故障电路

时间要求，则采用漏电保护器作专门的接地故障保护最为有效，此时必须设置专门的 PE 线。

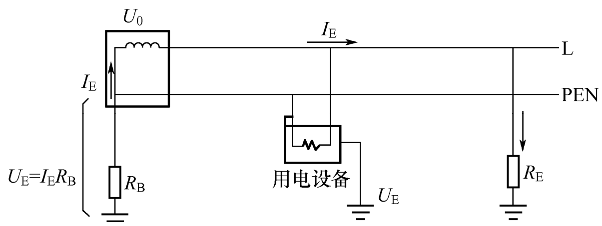


图 5-9　相线对大地短路引起的对地故障电压

6）重复接地的设置

在 TN 系统中，宜将保护线与附近接地良好的金属导体相连接，使保护线的电位尽量接近地电位，降低发生接地故障和 PEN 线断线时外露导电部分和保护线的对地故障电压。

在电源线进入建筑物内电气装置处宜尽量利用自然接地体作重复接地。通常自进线配电箱的 PE（PEN）母线引出保护线至配电箱近旁的接地母排上，再自此母排引出接地线至接地极。

4. TT 系统

（1）对保护电器动作特性的要求

TT 系统发生接地故障时，故障电路内包含有外露导电部分接地极和电源接地极的接地电阻。与 TN 系统相比，TT 系统故障电路阻抗大，故障电流小，故障点未被熔焊而呈现接触电阻，其阻值难以估算。因此用预期接触电压值来规定对保护电器动作特性的要求，如当预期接触电压等于或大于 50V 时，保护电器应在规定时间内切断故障电路。计算时未计故障点接触电阻，使计算所得的预期接触电压偏大，从而留有一定的裕量。

$$R_A I_{op} \leqslant 50\text{V}$$

式中　R_A——电气装置外露导电部分接地极和 PE 线电阻之和（Ω）；

I_{op}——使保护电器在规定时间内可靠动作的电流（A），此规定时间对固定式设备为 5s。

（2）接地极的设置

在 TT 系统内，原则上各保护电器所保护的外露导电部分应分别接至各自的接地极上，以免故障电压的互窜。但实际上难以实现，这时可采用共同的接地极。对于分级装设的漏电保护器，由于各级的延时不同，宜尽量分设接地极，以避免保护线的互相连通。

5. IT 系统

（1）第一次接地故障时对保护电器动作特性的要求

IT 系统发生第一次一相接地故障时，故障电流为另两相对地电容电流的相量和，故障电流很小，外露导电部分的故障电压限制在 50V 及以下，不构成对人体的危害，不需要中断供电，这是 IT 系统的主要优点。发生第一次接地故障后应由绝缘监察器发出信号，以便及时排除故障，避免另两相再发生接地故障形成相间短路使过电流保护动作，引起供电中断。

（2）第二次接地故障（异相）时对保护电器动作特性的要求

当 IT 系统的外露导电部分单独或成组地用各自的接地极接地时，如发生第二次接地故障（异相），故障电流流经两个接地极电阻，其防电击要求和 TT 系统相同。

IT 系统内外露导电部分用各自的接地极接地的方法如图 5-10 所示。

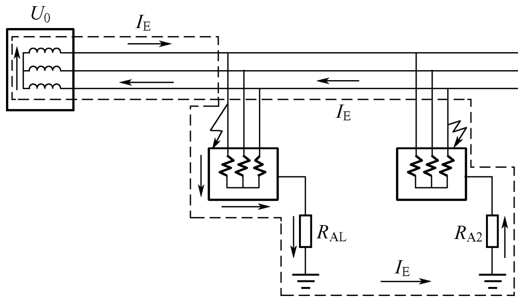


图 5-10　IT 系统内外露导电部分用各自的接地极接地的方法

IT 系统内外露导电部分用共同的接地极接地的方法如图 5-11 所示。

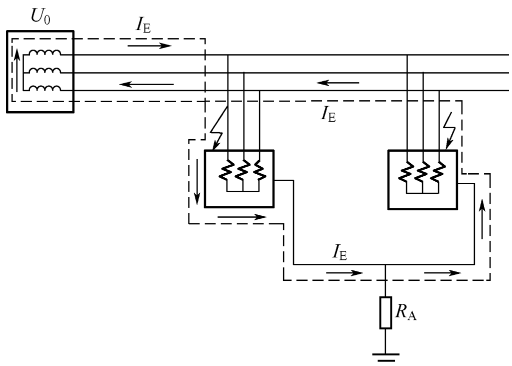


图 5-11　TT 系统内外露导电部分用共同的接地极接地的方法

（3）IT 系统不宜配出中性线

IT 系统配出中性线后可取得照明、控制等用的 220V 电源电压。但配出中性线后，如果它因绝缘损坏对地短路，因中性线接近地电位，绝缘监察器不能检测出故障而发出信号，中性线接地故障将持续存在，此 IT 系统将按 TT 系统运行。

中性线发生接地故障后 IT 系统按 TT 系统运行的方法如图 5-12 所示。

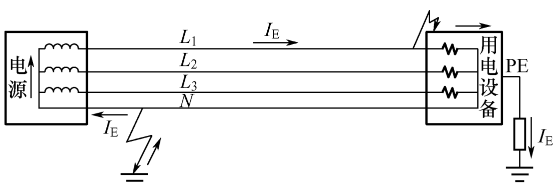


图 5-12　中性线发生接地故障后 IT 系统按 TT 系统运行的方法

5.2.4　漏电保护装置的技术参数与应用

1. 漏电保护装置的主要技术参数

1）关于漏电动作性能的技术参数

关于漏电动作性能的技术参数是漏电保护装置最基本的技术参数，包括漏电动作电流和漏电动作时间。

（1）额定漏电动作电流（$I_{\triangle n}$）

它是指在规定的条件下，漏电保护装置必须动作的漏电动作电流值。该值反映了漏电保护装置的灵敏度。

我国标准规定的额定漏电动作电流值为：6mA，10mA，（15mA），30mA，（50mA），（75mA），100mA，（200mA），300mA，500mA，1000mA，3000mA，5000mA，10000mA，20000mA 共 15 个等级（带括号的值不推荐优先采用）。其中，30mA 及其以下者属高灵敏度，主要用于防止各种人身触电事故；30～100mA 者属中灵敏度，用于防止触电事故和漏电火灾；1000mA 以上者属低灵敏度，用于防止漏电火灾和监视一相接地事故。

（2）额定漏电不动作电流（$I_{\triangle n0}$）

它是指在规定的条件下，漏电保护装置必须不动作的漏电不动作电流值。为了防止误动作，漏电保护装置的额定不动作电流不得低于额定动作电流的 1/2。

（3）漏电动作分断时间

它是指从突然施加漏电动作电流开始到被保护电路完全被切断为止的全部时间。为适应人身触电保护和分级保护的需要，漏电保护装置有快速型、延时型和反时限型三种。快速型适用于单级保护，用于直接接触电击防护时必须选用快速型的漏电保护装置。延时型漏电保护装置人为地设置了延时，主要用于分级保护的首端。反时限型漏电保护装置是配合人体安全电流—时间曲线而设计的，其特点是漏电电流越大，则对应的动作时间越小，呈现反时限动作特性。

快速型漏电保护装置动作时间与动作电流的乘积不应超过 30mA·s。

我国标准规定漏电保护装置的动作时间如表 5-11 所示，表中额定电流≥40A 的一栏适用于组合型漏电保护装置。

表 5-11　漏电保护装置的动作时间

额定动作电流 $I_{\triangle n}$/mA	额定电流/A	动作时间/s			
		$I_{\triangle n}$	$2I_{\triangle n}$	0.5A	$5I_{\triangle n}$
≤30	任意值	0.2	0.1	0.04	—
>30	任意值	0.2	0.1	—	0.04
	≥40	0.2	—	—	0.15

延时型漏电保护装置延时时间的优选值为：0.2s，0.4s，0.8s，1s，1.5s，2s。

2）其他技术参数

漏电保护装置的其他技术参数的额定值主要有：

① 额定频率为 50Hz。

② 额定电压为 220V 或 380V。

③ 额定电流（I_n）为 6A，10A，16A，20A，25A，32A，40A，50A，（60A），63A，（80A），100A，（125A），160A，200A，250A（带括号值不推荐优先采用）。

3）接通分断能力

漏电保护装置的接通分断能力应符合表 5-12 的规定。

表 5-12　漏电保护开关的分断能力

额定动作电流 $I_{\triangle n}$/mA	接通分断电流/A
$I_{\triangle n}\leqslant 10$	≥300
$10<I_{\triangle n}\leqslant 50$	≥500
$50<I_{\triangle n}\leqslant 100$	≥1000
$100<I_{\triangle n}\leqslant 150$	≥1500
$150<I_{\triangle n}\leqslant 200$	≥2000
$200<I_{\triangle n}\leqslant 250$	≥300

2. 漏电保护装置的应用

1）漏电保护装置的选用

选用漏电保护装置应首先根据保护对象的不同要求进行选型，既要保证在技术上有效，还应考虑经济上的合理性。不合理的选型不仅达不到保护目的，还会造成漏电保护装置的拒动作或误动作。正确合理地选用漏电保护装置，是实施漏电保护措施的关键。

（1）动作性能参数的选择

① 防止人身触电事故。用于直接接触电击防护的漏电保护装置应选用额定动作电流为30mA 及其以下的高灵敏度、快速型漏电保护装置。

在浴室、游泳池、隧道等场所，漏电保护装置的额定动作电流不宜超过 10mA。

在触电后可能导致二次事故的场合，应选用额定动作电流为 6mA 的快速型漏电保护装置。

漏电保护装置用于间接接触电击防护时，着眼点在于通过自动切断电源，消除电气设备发生绝缘损坏时因其外露可导电部分持续带有危险电压而产生触电的危险。例如，对于固定式的电机设备、室外架空线路等，应选用额定动作电流为 30mA 及其以上的漏电保护装置。

② 防止火灾。对木质灰浆结构的一般住宅和规模小的建筑物，考虑其供电量小、泄漏电流小的特点，并兼顾到电击防护，可选用额定动作电流为 30mA 及其以下的漏电保护装置。

对除住宅以外的中等规模的建筑物，分支回路可选用额定动作电流为 200mA 及其以下的漏电保护装置。

主干线可选用额定动作电流为 200mA 以下的漏电保护装置。

对钢筋混凝土类建筑，内装材料为木质时，可选用 200mA 以下的漏电保护装置；内装材料为不燃物时，应区别情况，可选用 200mA 到数安培的漏电保护装置。

③防止电气设备烧毁。由于作为额定动作电流选择的上限，选择数安培的电流一般不会造成电气设备的烧毁，因此，防止电气设备烧毁所考虑的主要是与防止触电事故的配合和满足电网供电可靠性问题。通常选用 100mA 到数安培的漏电保护装置。

（2）其他性能的选择

对于连接户外架空线路的电气设备，应选用冲击电压不动作型漏电保护装置。

对于不允许停转的电动机，应选用漏电报警方式，而不是漏电切断方式的漏电保护装置。

对于照明线路，宜根据泄漏电流的大小和分布，采用分级保护的方式。支线上用高灵敏度的漏电保护装置，干线上选用中灵敏度的漏电保护装置。

漏电保护装置的极线数应根据被保护电气设备的供电方式选择，单相 220V 电源供电的

电气设备应选用二极或单极二线式漏电保护装置；三相三线 380V 电源供电的电气设备应选用三极式漏电保护装置；三相四线 220V/380V 电源供电的电气设备应选用四极或三极四线式漏电保护装置。

漏电保护装置的额定电压、额定电流、分断能力等性能指标应与线路条件相适应。漏电保护装置的类型应与供电线路、供电方式、系统接地类型和用电设备特征相适应。

2）漏电保护装置的安装

① 需要安装漏电保护装置的场所有：带金属外壳的Ⅰ类设备和手持式电动工具，安装在潮湿或强腐蚀等恶劣场所的电气设备，建筑施工工地的电气施工机械设备，临时性电气设备，宾馆类的客房内的插座，触电危险性较大的民用建筑物内的插座，游泳池、喷水池或浴室类场所的水中照明设备，安装在水中的供电线路和电气设备，以及医院中直接接触人体的电气医疗设备（胸腔手术室除外）等均应安装漏电保护装置。

对于公共场所的通道照明及应急照明电源，消防用电梯及确保公共场所安全的电气设备的电源，消防设备（如火灾报警装置、消防水泵、消防通道照明等）的电源，防盗报警装置的电源，以及其他不允许突然停电的场所或电气装置的电源，若在发生漏电时上述电源被立即切断，将会造成严重事故或重大经济损失。因此，在上述情况下，应装设不切断电源的漏电报警装置。

② 不需要安装漏电保护装置的设备或场所有：使用安全电压供电的电气设备，一般环境情况下使用的具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备，使用隔离变压器供电的电气设备，在采用了不接地的局部等电位联结安全措施的场所中适用的电气设备，以及其他没有间接接触电击危险场所的电气设备。

③ 漏电保护装置的安装要求：漏电保护装置的安装应符合生产厂家产品说明书的要求，应考虑供电线路、供电方式、系统接地类型和用电设备特征等因素。漏电保护装置的额定电压、额定电流、额定分断能力、极数、环境条件及额定漏电动作电流和分断时间，在满足被保护供电线路和设备的运行要求时，还必须满足安全要求。

安装漏电保护装置之前，应检查电气线路和电气设备的泄漏电流值和绝缘电阻值。所选用漏电保护装置的额定不动作电流应不小于电气线路和设备正常泄漏电流最大值的 2 倍。当电气线路或设备的泄漏电流大于允许值时，必须更换绝缘良好的电气线路或设备。

安装漏电保护装置不得拆除或放弃原有的安全防护措施，漏电保护装置只能作为电气安全防护系统中的附加保护措施。

漏电保护装置标有电源侧和负载侧，安装时必须加以区别，按照规定接线，不得接反。如果接反，会导致电子式漏电保护装置的脱扣线圈无法随电源切断而断电，以致长时间通电而烧毁。

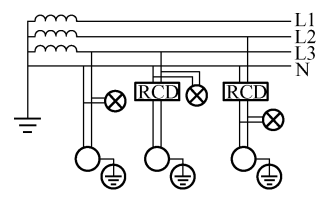
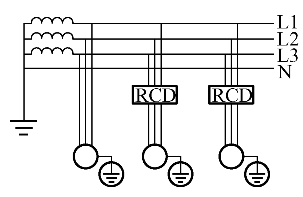
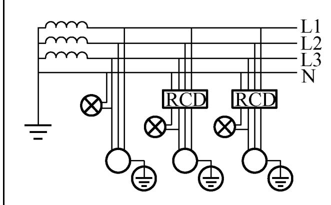
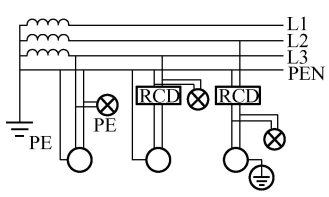
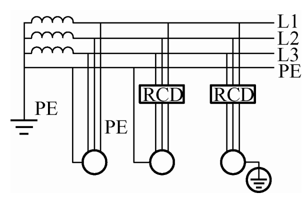
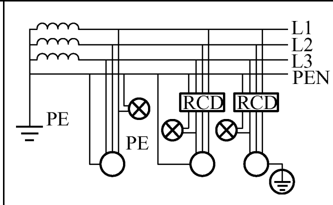
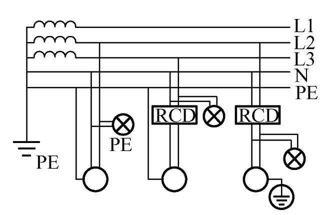
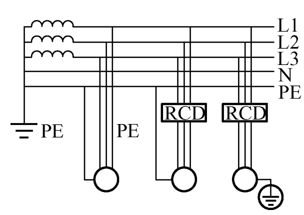
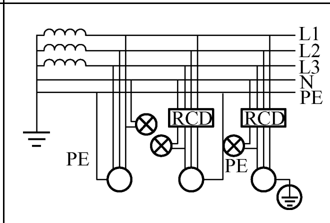
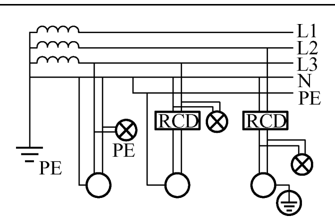
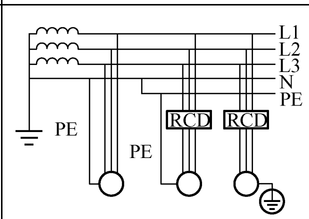
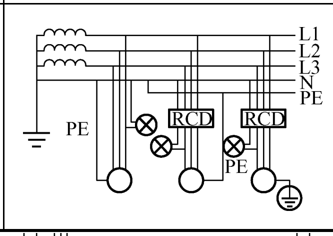
安装漏电保护装置时，必须严格区分中性线和保护线。使用三极四线式和四极四线式漏电保护装置时，中性线应接入漏电保护装置。经过漏电保护装置的中性线不得作为保护线、不得重复接地或连接设备外露可导电部分。

保护线不得接入漏电保护装置。

漏电保护装置安装完毕后应操作试验按钮试验三次，带负载分合三次，确认动作正常后，才能投入使用。

漏电保护装置接线方式如表 5-13 所示。

表 5-13　漏电保护装置接线方式

接地形式		单相（单极或双极）	三相	
			三线（三极）	四线（三极或四极）
TT				
TN	TN-C			
	TN-S			
	TN-C-S			

注：①L1，L2，L3 为相线；N 为中性线；PE 为保护线；PEN 为中性线和保护线合一；为单相或三相电气设备；为单相照明设备；RCD 为漏电保护器；为不与系统中接地点相连的单独接地装置，作保护接地用。

② 单相负载或三相负载在不同的接地保护系统中的接线方式图中，左侧设备为未装有漏电保护器，中间和右侧为装有漏电保护器的接线图。

③ 在 TN 系统中使用漏电保护器的电气设备，其外露可导电部分的保护线可接在 PEN 线，也可以接在单独接地装置上形成局部 TN 系统，如 TN 系统接线方式图的右侧设备的接线。

3）漏电保护装置的运行

（1）漏电保护装置的运行管理

为了确保漏电保护装置的正常运行，必须加强运行管理。

① 对使用中的漏电保护装置应定期用试验按钮试验其可靠性。

② 为检验漏电保护装置使用中动作特性的变化，应定期对其动作特性（包括漏电动作电流值、漏电不动作电流值及动作时间）进行试验。

③ 运行中漏电保护器跳闸后，应认真检查其动作原因，排除故障后再合闸送电。

（2）漏电保护装置的误动作和拒动作分析

① 误动作。它是指线路或设备未发生预期的触电或漏电时漏电保护装置产生的动作。误

动作的原因主要来自两方面：一方面是由漏电保护装置本身的原因引起的；另一方面是由来自线路的原因引起的。

由漏电保护装置本身引起误动作的主要原因是质量问题。如装置在设计上存在缺陷、选用元件质量不良、装配质量差、屏蔽不良等，均会降低保护器的稳定性和平衡性，使可靠性下降，从而导致误动作。

由线路原因引起误动作的原因主要有：

- 接线错误。例如，保护装置后方的零线与其他零线连接或接地，或保护装置的后方的相线与其他支路的同相相线连接，或将负载跨接在保护装置电源侧和负载侧等。
- 绝缘恶化。保护器后方一相或两相对地绝缘破坏或对地绝缘不对称降低，都将产生不平衡的泄漏电流，从而引发误动作。
- 冲击过电压。冲击过电压产生较大的不平衡冲击泄漏电流，从而导致误动作。
- 不同步合闸。不同步合闸时，先于其他相合闸的一相可能产生足够大的泄漏电流，从而引起误动作。
- 大型设备启动。在漏电保护装置的零序电流互感器平衡特性差时，大型设备的大启动电流作用下，零序电流互感器一次绕组的漏磁可能引发误动作。

此外、偏离使用条件、制造安装质量低劣、抗干扰性能差等都可能引起误动作的发生。

② 拒动作。它是指线路或设备已发生预期的触电或漏电而漏电保护装置却不产生预期的动作。拒动作较误动作少见，然而其带来的危险不容忽视。造成拒动作的原因主要有：

- 接线错误。错将保护线也接入漏电保护装置，从而导致拒动作。
- 动作电流选择不当。额定动作电流选择过大或整定过大，从而造成拒动作。
- 线路绝缘阻抗降低或线路太长。由于部分电击电流经绝缘阻抗再次流经零序电流互感器返回电源，从而导致拒动作。

此外，零序电流互感器二次线圈断线、脱扣元件粘连等各种各样的漏电保护装置内部故障、缺陷均可造成拒动作。

5.2.5　常用低压电气元件的选用

1. 接触器的选用

（1）交流接触器

一般性原则：主触头的通断电流≥线路电流。

除此以外，还应该考虑以下几点。

① 对于电动机负载。

一般性任务：操作频率不高，用以接通交流电动机，在满速运行时断开，并伴有少量（如0.5%左右）的点动。只要接触器的额定电压与额定电流等于或稍大于电动机的额定电压与额定电流即可。常选用 CJ10 系列接触器。

重任务：操作频率达 100 次/h 以上，用来启动交流电动机，并不时运行于点动、反接制动、反向和在低速时断开。常选用 CJ10Z 系列或 CJ20 系列接触器。对于大、中容量绕线转子异步电动机，则可选用 CJ12 系列接触器。

特重任务：操作频率高达 600～1200 次/h，用于交流电动机频繁点动、反接制动和可逆

运行。可以按重任务选用 CJ10Z、CJ20、CJ12 等系列接触器而加大其额定电流值，有时还可以按电动机的启动电流作为接触器的额定电流值来选用，以获得较高的寿命。

② 对于非电动机负载。

电热设备：由于电流的波动范围较小，可按大于电热设备额定电流的 1.2 倍来选取接触器，由于电热负载往往是单相的，可将三极接触器并联使用，以扩大其使用电流。

变压器：一般用于交流弧焊机、电阻焊机和带变压器的感应炉等负载。要考虑接通电流的浪涌值和电焊机上电极短路的情况，焊接时的分断电流平均比接通电流大 2～4 倍，是单相负载，接触器的三极可以并联使用。

照明装置：选用时考虑照明装置的类型、电路图、启动电流和长期工作电流等因素。

（2）直流接触器

选用时，除需了解控制功率、工作电压、电流、操作频率、工作制、控制电路参数和环境等条件外，还需了解电动机的使用类别和接触器的临界电流问题。降容使用时要特别注意电路中不应要求接触器分断低于其额定电流 20%的电流值。

2. 断路器的选用

首先，根据用途确定断路器的形式和极数。

其次，根据线路参数选择合适的断路器：

① 断路器的额定工作电压≥线路额定电压。

② 断路器的额定工作电流≥线路计算负载电流。

③ 断路器的额定短路通断能力≥线路中可能出现的最大短路电流。

④ 断路器欠压脱扣器额定电压=线路额定电压。

3. 导线的选用

导线选择的原则：在长期工作制条件下，电线、电缆按发热技术优势所允许的电流应大于或等于线路的计算电流。

正确选用导线首先要确定线路的负荷大小，即线路当中的电流大小，然后再根据负荷大小确定导线的截面积。在工程应用中有一些简便易行的方法可以快速估算导线截面积的大小，比如下面的口诀：

十下五，百上二，二五三五四三界，柒拾玖五两倍半，铜线升级算

上面口诀的意思就是 10mm^2 以下的铝线，平方毫米数乘以 5 就是其载流量，要是铜线呢，就升一个档，比如 2.5mm^2 的铜线，就按 4mm^2 计算。100mm^2 以上的都是截面积乘以 2，25mm^2 以下的乘以 4，35mm^2 以上的乘以 3，70mm^2 和 95mm^2 都乘以 2.5。

另外，如果按室内记住电线 6mm^2 以下的铜线，每平方毫米电流不超过 10A 就是安全的，从这个角度讲，你可以选择 1.5mm^2 的铜线或 2.5mm 的铝线。10m 内，导线电流密度为 6A/mm^2 比较合适；10～50m，3A/mm^2；50～200m，2A/mm^2；500m 以上要小于 1A/mm^2。从这个角度，如果不是很远的情况下，你可以选择 4mm^2 铜线或者 6mm^2 铝线。如果是距离 150m 供电（不说是不是高楼），一定采用 4mm^2 的铜线。

总之，导线的阻抗与其长度成正比，与其线径成反比。请在使用电源时，特别注意输入与输出导线的线材与线径问题，以防止电流过大使导线过热而造成事故。

4. 剩余电流动作断路器的选择（正泰 DZ47LE 系列）

剩余电流动作断路器（正泰 DZ47LE 系列）相关信息如图 5-13 所示。

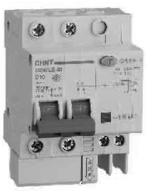
CHNT 正泰

断路器类

DZ47LE

系列剩余电流动作断路器







1 适用范围

DZ47LE系列剩余电流动作断路器适用于交流50Hz或60Hz，额定电压单极两线、两极230V，三极、三极四线、四极400V，额定电流至60A的线路中，当人身触电或电网泄漏电流超过规定值时，剩余电流动作断路器能在极短的时间内迅速切断故障电源，保护人身及用电设备的安全。

剩余电流动作断路器具有过载和短路保护功能，可用来保护线路或电动机的过载和短路，亦可在正常情况下作为线路的不频繁转换启动之用。

产品符合GB16917.1和IEC61009-1标准。

2 型号及含义

DZ 47 LE-□ □□-□

- □ 额定剩余动作电流(A)
- □ 瞬时脱扣类型及额定电流
- □ 极数，带有不可分断的中性线时，加N表示
- □ 壳架等级额定电流(32A、63A)
- LE 功能代号(电子式剩余电流动作断路器)
- 47 设计代号
- DZ 塑料外壳式断路器

3 正常工作条件和安装条件

3.1 周围空气温度-5℃～40℃，24h内平均不超过35℃。

3.2 海拔高度：安装地点的海拔不超过2000m。

3.3 大气条件：安装地点的空气相对湿度在最高温度40℃时不超过50%，在较低的温度下允许有较大的相对湿度；例如25℃时达90%。

3.4 安装类别：Ⅱ、Ⅲ级。

3.5 污染等级：2级。

3.6 安装型式：采用TH35-7.5型钢安装轨安装。

3.7 安装条件：安装场所的外磁场任何方向均不应超过地磁场的5倍；剩余电流动作断路器一般应垂直安装，手柄向上为接通电源位置；安装处应无显著冲击和振动。

3.8 接线方法：用螺钉压紧接线。

4 主要参数及技术性能

4.1 主要规格：

4.1.1 额定电流(In)：壳架等级电流32A为：6、10、16、20、25、32A；
壳架等级电流63A为：6、10、16、20、25、32、40、50、60A；

4.1.2 额定剩余动作电流I△n：0.03、0.05、0.1、0.3A；

4.1.3 按极数和电流回路分为：

a.单极两线剩余电流动作断路器；

b.两极剩余电流动作断路器；

c.三极剩余电流动作断路器；

d.三极四线剩余电流动作断路器；

e.四极剩余电流动作断路器；

4.1.4 按瞬时脱扣器特性分：

C型(5～10)In，D型(10～16)In。

4.2 主要技术参数：

4.2.1 额定电压Un(V)：单极两线、两极为230V；三极、三极四线、四极为400V；

4.2.2 额定短路能力Icn(A)：6000(C6～C40)；
4500(C50、C60、D6～D60)；

图 5-13　剩余电流动作断路器（正泰 DZ47LE 系列）相关信息

CHNT正泰

断路器类



4.2.3 额定剩余接通和分断能力I△m(A)：2000；

4.2.4 额定剩余不动作电流I△no：0.5I△n；

4.2.5 剩余电流动作的分断时间见下表1

表1

In(A)	I△n(A)	剩余电流等于下列值时分断时间(s)				
		I△n	2I△n	5I△n	5A，10A，20A，50A，[a] 100A，200A，500A	I△t[b]
6~60	0.03，0.05，0.1，0.3	0.1	0.05	0.04	0.04	0.04

注：a.5A，10A，20A，50A，100A，200A，500A的试验仅对验证动作时进行，对大于过电流瞬时脱扣范围下限的电流值不进行试验。

b.在I△t等于C型或D型的过电流瞬时脱扣范围下限的电流值进行试验。

4.2.6 过电流保护特性见表2

表2

序号	额定电流In(A)	起始状态	试验电流	规定时间t	预期结果	备注
1	6~60	冷态	1.13In	t≥1h	不脱扣	
2	6~60	紧接前项试验进行	1.45In	t<1h	脱扣	电流在5s内稳定上升到规定值
3	6~60	冷态	2.25In	1s<t<60s	脱扣	In≤32A
				1s<t<120s	脱扣	In>32A
4	6~60	冷态	5In	t≥0.1s	不脱扣	C型
			10In	t<0.1s	脱扣	
			10In	t≥0.1s	不脱扣	D型
			16In	t<0.1s	脱扣	

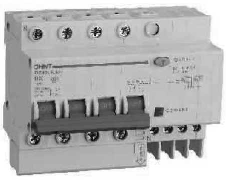
4.2.7 机械电气寿命：

电气寿命：2000次，COS ϕ=0.85～0.9；

机械寿命：2000次；

操作频率：In≤25A　240次/h；

In>25A　120次/h；



4.2.8 绝缘耐冲击电压性能

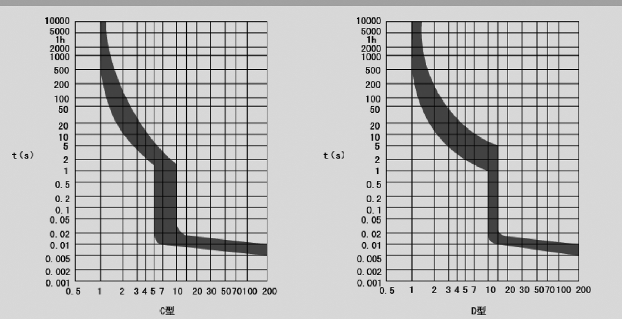
各极连接在一起与中性极之间能承受峰值为6000V的冲击电压；

各极与中性极连接在一起和金属支架之间能承受峰值为8000V的冲击电压。

4.2.9 剩余电流动作断路器在峰值电流为200A冲击电流和峰值电压为$2.5\sqrt{2}$ Un浪涌过电压作用下，具有承受能力。并不引起误动作。

4.2.10 脱扣器特性曲线见图1

图1



4.2.11 接线螺钉扭矩应不小于1.5N·m；

4.3 周围空气温度：

周围空气温度最高温度40℃最低不低于-5℃，24h平均不超过+35℃，周围空气温度对断路器的影响见表3。

表3

温度℃	-15	-5	0	10	20	30	40	55
额定电流修正系数	1.19	1.15	1.13	1.06	1.05	1	0.96	0.89

图5-13　剩余电流动作断路器（正泰DZ47LE系列）相关信息（续）

4.4 安装铜导线选型见表4 表4

额定电流In(A)	标称铜导线截面积(mm^2)
10及以下	1.5
10～20	2.5
20～25	4
25～32	6
32～50	10
50～60	16

5外形及安装尺寸

外形及安装尺寸

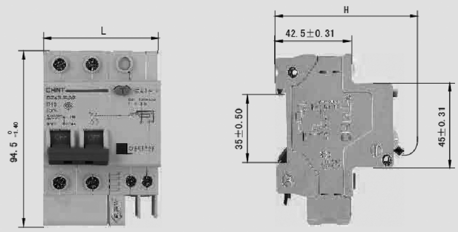
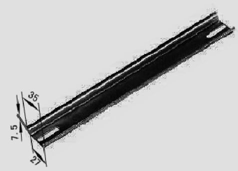


图3 TH35-7.5安装导轨尺寸



极数	L(mm)		H(mm)
	Inm=32	Inm=63	
1P+N	$45^{0}_{-0.62}$	$54^{0}_{-0.74}$	$74^{0}_{-1.20}$
2P	$63^{0}_{-0.74}$	$72^{0}_{-0.74}$	$77.8^{0}_{-1.20}$
3P	$90^{0}_{-1.40}$	$103.5^{0}_{-1.40}$	$77.8^{0}_{-1.20}$
3P+N	$99^{0}_{-1.40}$	$117^{0}_{-1.40}$	$77.8^{0}_{-1.20}$
4P	$117^{0}_{-1.60}$	$135^{0}_{-1.60}$	$77.8^{0}_{-1.20}$

6订货须知

6.1 订货时要标明下列各点：

6.1.1 产品型号和名称，如：壳架等级额定电流为63A，产品型号名称为DZ47LE-63剩余电流动作断路器；

6.1.2 额定电流，如50A；

6.1.3 极线数，如单极两线；

6.1.4 瞬时脱扣器类型，如C型；

6.1.5 额定剩余动作电流，如0.03A；

6.1.6 订货数量，如50台；

6.2 订货举例：DZ47LE-63剩余电流动作断路器，C50，单极两线，0.03A，50台。

图 5-13 剩余电流动作断路器（正泰 DZ47LE 系列）相关信息（续）

5.2.6 低压配电柜质量检查

按照先进的质量管理理论，产品质量仅靠最后的出厂检验是远远不够的。新的管理理论强调全面质量管理，强调全员参与、全过程参与。即所有与产品质量有关的人都要参与，包括设计人员、物资采购人员、生产人员、设备管理人员、培训人员、质量检验人员、市场销售和售后服务人员及计划人员，当然更包括企业各级管理人员。所谓全过程参与，就是从接合同开始，每一步工作，每一道工序，一直到售后服务，都要求高度重视质量问题，都要认真抓。只有从头至尾抓质量，人人都把自己的工作和产品质量挂钩，并认真抓好，产品质量才能得到保证。

在低压开关柜的装配过程中，每一个大的工序完工后，都要进行检验，确保每道工序质量符合要求。开关柜装配过程中要进行 4 道工序检验。

1. 外形尺寸和外观质量检验

早期的开关柜柜体是焊接而成的，现在则大多采用组装方式。即将经过机械加工的立柱、横梁、门板、隔板、侧板等部件进行装配成为柜体。

外形尺寸检查：一是检查机械加工质量（在机加工过程中，也有工序检验）；二是检查装配质量。外形尺寸包括：

① 柜子的高、宽、深。根据有关的质量分等标准，检查 4 根立柱的高度（一级配电设备，这个高度一般为 2200mm）、6 个宽度（柜体正面及背面上、中、下共 6 个尺寸）、6 个深度（左侧及右侧上、中、下共 6 个尺寸）。有关标准给出了允许的偏差范围。偏差不超过规定值，就判为合格；超过规定值，但偏差不到规定值的一倍，就不得分；偏差超过规定值的一倍，就判为不合格。例如，高度应为 2200mm，允许偏差为±2.7mm。

② 对角线之差。这是检验框架装配的垂直度的。框架装配中立柱和底框垂直度不好，框架就会倾斜，柜体前、后面或两个侧面就会变成平行四边形（正确的应为矩形）。同样，底框装配也有这个问题。框架垂直度不好，柜子就会东倒西歪，将来到用户现场多台拼装在一起，既不美观，又浪费空间，还要影响柜与柜之间母排的连接，所以这是不允许的。但直接测量垂直度不太容易，就采用测量对角线的办法，即测量柜子左右两个侧面、背面和底框的对角线，如果同一面两条对角线尺寸之差不超过规定值，就判为合格。例如，高 h 为 2200mm，宽 w 为 800mm，如果高、宽尺寸正确，装配中垂直度又很好（理想情况），则两条对角线尺寸均为 $L= h^2 +w^2 = 2200^2 +800^2 =2341$（mm），实际总有误差。有关标准规定：当对角线尺寸在 2001～3000mm 之间时，对角线尺寸之差不超过 5mm，就算合格。

③ 门缝偏差 。门与框架横梁之间、同一台柜子上下相邻的门与门之间，应该是平行的，实际总会有一些偏差，造成门缝一端大、一端小。一般门缝长度不超过 1000mm 时，门缝宽、窄偏差不得超过 1mm；门缝长度超过 1000mm 时，门缝偏差不得超过 1.5mm（同一间隙）或 2.5mm（两条门缝的平行间隙）。总的要求是均匀、附着力强、喷涂层厚度达到规定要求，色彩一致并符合规定，喷涂层不能有皱纹、流痕、针孔、气泡透底，无划痕等。平整度的要求是每米内的凹凸不超过 3mm。此外，还要求柜体组装要牢靠，门的开启要灵活等。

2. 电气元件装配质量检查

检查的内容有：

① 所用元器件型号、规格、数量是否符合图样要求。

② 元器件的安装、布局是否符合工艺要求。

③ 面板上的指示灯、按钮、仪表均应横平竖直（设计时，还应考虑人机工程学的要求，如钮、仪表等不能安装在太高或太低的位置，否则操作和观察均不方便）。

④ 元器件是否有完整的标志、铭牌，标牌上内容是否正确。

⑤ 元器件安装是否牢靠、合理、符合元器件生产厂的安装要求（如有的元件只能竖装，不允许横装，有的不允许倾斜等）。

⑥ 还要检查电气元件和功能单元中带电部件的电器间隙和爬电距离是否符合规定，断路器、交流接触器的飞弧距离是否合格。

⑦ 电气元件的裸露带电端子等带电导体距金属构件（如框架、隔板、门板等）的距离不得小于 20mm，如达不到要求必须采取绝缘措施。各相的熔断器之间应有挡板，防止一相熔断器熔断时影响相邻的熔断器。

3. 接线工序的检查

① 导线连接是否牢靠；每个端子只允许连接一根导线（必要时允许连两根导线）。

② 绝缘导线穿越金属构件应有保护导线不受损伤的措施。

③ 用线束布线，线束要横平竖直，且横向不大于 30mm，竖向不大于 400mm，应有一个固定点。

④ 交流回路的导线穿越金属隔板时，该电路所有相线和零线均应从同一孔中穿过（由电工知识知道，当一根载有交流电流的导线穿过金属板时，会在金属板中产生涡流；通过导线的电流越大，产生的涡流也越大，这就会额外消耗电能，也会增加金属板的温升。而当三相导线和零线一起穿过同一个金属孔时，三根相线和零线上的电流瞬时值之和通常为零或相当小，这样就不会在金属板中产生涡流了）。

⑤ 在可移动的地方，必须采用多股铜芯绝缘导线，并留有长度裕度。

⑥ 接地保护在连接框架、面板等涂覆件时，必须采用刮漆垫圈，并拧紧紧固件（目的是尽量减少接触电阻）。

5.3　车间配电柜的设计

本技术要求所指的配电柜是为各工位供电的小型配电柜，具体要求如下：

① 设计配电柜系统图。

② 插座安装：

a．三相插座额定电流为 16A，插座接线为三根相线和中线；单相插座额定电流为 10A。

b．插座安装在柜门和柜体的背板上，两面各安装两个单相插座和两个三相插座，单相插座安装在上面，二者应保持至少 50mm 的距离，两面的安装位置要一致。

c．所用插座需提供产品质量合格证明。

d．在插座的正上方，需按图纸中的标号设置标号。

③ 配电柜内必须安装接地排，接地排的端子数不少于 6 个，可以接 $6mm^2$ 的接地线。

④ 指示灯和空气开关安装在柜体顶部，操作部分外露。

⑤ 配电柜底面离地高低不小于 80mm，配电柜整体尺寸（包括支撑部位）不大于 350mm×200mm×500mm（长×宽×高）。

⑥ 配电柜体用 1.5mm 厚的冷轧钢板制作，柜体在表面涂覆前应按国家和行业有关标准要求，进行除油、除锈、酸洗磷化等表面处理工作，保证涂覆材料在柜体上的附着力达到标准的规定值。

柜体内外表面涂覆采用喷塑工艺，要求涂覆层厚度均匀、附着牢固、色度一致。喷塑颜色由订货方指定。

⑦ 配电柜采用下端进线，预留一个敲落孔，柜体可以通过螺钉固定在地面上，固定螺钉不能外露。

⑧ 柜体上按相关国家标准，设置各种标识符号、标记。

习 题 5

1．电力系统由哪几部分组成？各部分的作用是什么？

2．低压配电系统的配电方式有哪些？各有什么特点？

3．常用的绝缘电线有哪几种？各有什么优缺点？

附录A 中级维修电工理论复习试题及答案

中级维修电工理论复习试题

一、选择题（第 1～60 题。选择正确的答案，将相应的字母添入题内的括号中。每题 1.0 分）

1．在多级放大电路的级间耦合中，低频电压放大电路主要采用（　　）耦合方式。

A．阻容　　B．直接　　C．变压器　　D．电感

2．如果一直线电流的方向由北向南，在它的上方放一个可以自由转动的小磁针，则小磁针的 N 极偏向（　　）。

A．西方　　B．东方　　C．南方　　D．北方

3．根据电磁感应定律 $e=-N\times(\Delta\Phi/\Delta t)$ 求出的感应电动势，是在 Δt 这段时间内的（　　）。

A．平均值　　B．瞬时值　　C．有效值　　D．最大值

4．在线圈中的电流变化率一定的情况下，自感系数大，说明线圈的（　　）大。

A．磁通　　B．磁通的变化　　C．电阻　　D．自感电动势

5．电感为 0.1H 的线圈，当其中电流在 0.5s 内从 10A 变化到 6A 时，线圈上所产生电动势的绝对值为（　　）。

A．4V　　B．0.4V　　C．0.8V　　D．8V

6．互感器线圈的极性一般根据（　　）来判定。

A．右手定则　　B．左手定则　　C．楞次定律　　D．同名端

7．JT-1 型晶体管图示仪输出集电极电压的峰值是（　　）。

A．100V　　B．200V　　C．500V　　D．1000V

8．示波器面板上的“辉度”是调节（　　）的电位器旋钮。

A．控制栅极负电压　　B．控制栅极正电压

C．阴极负电压　　D．阴极正电压

9．通常在使用 SBT-5 型同步示波器观察被测信号时，“X 轴选择”应置于（　　）挡。

A．1　　B．10　　C．100　　D．扫描

10．用 SR-8 型双踪示波器观察频率较低的信号时，“触发方式”开关放在（　　）位置较为有利。

A．高频　　B．自动　　C．常态　　D．随意

11．一般要求模拟放大电路的输入电阻（　　）。

A．大些好，输出电阻小些好　　B．小些好，输出电阻大些好

C．和输出电阻都大些好　　D．和输出电阻都小些好

12．在正弦波振荡器中，反馈电压与原输入电压之间的相位差是（　　）。

A．0°　　B．90°　　C．180°　　D．270°

13．如图所示运算放大器属于（　　）。

A．加法器　　B．乘法器　　C．微分器　　D．积分器

14．多谐振荡器是一种产生（　　）的电路。

A．正弦波　　B．锯齿波　　C．矩形脉冲　　D．尖顶脉冲

15．寄存器主要由（　　）组成。

A．触发器　　B．门电路　　C．多谐振荡器　　D. 触发器和门电路

16．在带平衡电抗器的双反星形可控整流电路中，负载电流是同时由（　　）绕组承担的。

A．1 个晶闸管和 1 个　　B．2 个晶闸管和 2 个

C．3 个晶闸管和 3 个　　D．4 个晶闸管和 4 个

17．在晶闸管斩波器中，保持晶闸管触发频率不变，改变晶闸管导通的时间从而改变直流平均电压值的控制方式叫（　　）。

A．定频调宽法　　B．定宽调频法　　C．定频定宽法　　D．调宽调频法

18．晶闸管逆变器输出交流电的频率由（　　）来决定的。

A．一组晶闸管的导通时间　　B．两组晶闸管的导通时间

C．一组晶闸管的触发脉冲频率　　D．两组晶闸管的触发脉冲频率

19．电力场效应管 MOSFET 适于在（　　）条件下工作。

A．直流　　B．低频　　C．中频　　D．高频

20．电子设备防外界磁场的影响一般采用（　　）材料作成磁屏蔽罩。

A．顺磁　　B．反磁　　C．铁磁　　D．绝缘

21．小型变压器在绕制时，对铁芯绝缘及绕组间的绝缘，按对地电压的（　　）倍来选用。

A．1.5　　B．2　　C．3　　D．4

22．交流电动机转子绕组修理后，在绑扎前，要绑扎的位置上包（　　）层白纱带，使绑扎的位置平服。

A．1　　B．2～3　　C．5　　D．5～6

23．三相异步电动机温升过高或冒烟，造成故障的可能原因是（　　）。

A．三相异步电动机断相运行　　B．转子不平衡

C．定子、绕组相擦　　D．绕组受潮

24．X62W 万能铣床主轴电动机经过弹性联轴器和变速机构的齿轮传动链来实现传动，可使主轴具有（　　）级不同的转速。

A．12　　B．16　　C．18　　D．20

25．变压器的短路实验是在（　　）的条件下进行。

A．低压侧短路　　B．高压侧短路　　C．低压侧开路　　D．高压侧开路

26．直流发电机在原动机的拖动下旋转，电枢切割磁力线产生（　　）。

A．正弦交流电　　B．非正弦交流电　　C．直流电　　D．脉动直流电

27．直流电动机的换向极绕组必须与电枢绕组（　　）。

A．串联　　B．并联　　C．垂直　　D．磁通方向相反

28．并励直流电动机的机械特性为硬特性，当电动机负载增大时，其转速（　　）。

A．下降很多　　B．下降很少　　C．不变　　D．略有上升

29．已知某台电动机电磁功率为9kW，转速为n=900r/min，则其电磁转矩（　　）N·m。

A．10　　B．30　　C．100　　D．300/π

30．三相异步电动机反接制动时，采用对称制电阻接法，可以在限制制动转矩的同时也限制（　　）。

A．制动电流　　B．启动电流　　C．制动电压　　D．启动电压

31．直流测速发电机按励磁方式有（　　）种。

A．2　　B．3　　C．4　　D．5

32．旋转变压器的定子铁芯和转子铁芯，采用（　　）材料冲制、绝缘、叠装而成。

A．电工用纯铁　　B．高磁导率的硅钢片或铁镍合金片

C．非磁性合金　　D．软磁铁氧体

33．反映式步进电动机的转速n与脉冲频率（　　）。

A．f成正比　　B．f成反比　　C．f_2成正比　　D．f_2成反比

34．直流力矩电动机的工作原理与（　　）电动机相同。

A．普通的直流伺服　　B．异步　　C．同步　　D．步进

35．滑差电动机的转差离合器电枢是由（　　）拖动的。

A．测速发电机　　B．工作机械

C．三相鼠笼式异步电动机　　D．转差离合器的磁极

36．三相异步换向器电动机调速调到最低转速是，其转动移刷机构将使同相电刷间的张角变为（　　）电角度。

A．−180°　　B．180°　　C．0°　　D．90°

37．变频调速所用的VVVF型变频器，具有（　　）功能。

A．调压　　B．调频　　C．调压与调频　　D．调功率

38．三相并励换向器电动机调速适用于（　　）负载。

A．恒转矩　　B．逐渐增大转矩　　C．恒功矩　　D．逐渐减小转矩

39．无换相器电动机的逆变电路直流侧（　　）。

A．串有大电容　　B．串有大电感

C．并有大电容　　D．并有大电感

40．在实现恒转矩调速时，在调频的同时（　　）。

A．不必调整电压　　B．不必调整电流

C．必须调整电压　　D．必须调整电流

41．直流电动机用斩波器调速时，可实现（　　）。

A．有级调速　　B．无级调速　　C．恒定转速

42．在转速负反馈系统中，若要使开环和闭环系统的理想空载转速相同，则闭环时给定电压要比开环时的给定电压相应的提高（　　）倍。

A．2+K　　B．1+K　　C．1/（2+K）　　D．1/（1+K）

43．电压负反馈自动调速系统，调速范围D一般为（　　）。

A．D<10　　B．D>10　　C．10<D<20　　D．20<D<30

44．双闭环调速系统包括电流环和速度环，其中两环之间的关系是（　　）。

A．电流环为内环，速度环为外环　　B．电流环为外环，速度环为内环

C．电流环为内环，速度环也为内环　　D．电流环为外环，速度环也为外环

45．感应同步器主要技术参数有动态范围、精度、分辨率，其中动态范围为（　　）。

A．0.2～40m　　B．0.2～20m　　C．0.3～40m　　D．0.3～20m

46．（　　）属于轮廓控制型数控机床。

A．数控机床　　B．数控钻床　　C．加工中心　　D．数控镗床

47．VVVF 电梯采用（　　）方法进行调速。

A．改变磁极对数　　B．改变转差率

C．改变电源电压和频率　　D．改变电源电压

48．计算机发展的趋势是巨型化、微型化、网络化、智能化，其中巨型化是指（　　）。

A．体积大　　B．质量大　　C．外部设备更多

D．功能更强，运算速度更快，存储量更大

49．微机的核心是（　　）。

A．存储器　　B．总线　　C．CPU　　D．I/O 接口

50．（　　）不属于微机在工业生产中的应用。

A．智能仪表　　B．自动售票

C．机床的生产控制　　D．电动机的启动、停止控制

51．国内外 PLC 各生产厂家都把（　　）作为第一用户编程语言。

A．梯形图　　B．指令表　　C．逻辑功能图　　D．C 语言

52．单相电桥逆变器（电压型）的输出电压为（　　）。

A．正弦波　　B．矩形波　　C．锯齿波　　D．尖顶波

53．缩短基本时间的措施有（　　）。

A．提高工艺编制水平　　B．缩短辅助时间

C．减少准备时间　　D．减少休息时间

54．缩短辅助时间的措施有（　　）。

A．大量提倡技术改革和技术改造　　B．减少作业时间

C．减少准备时间　　D．减少休息时间

55．在载荷大，定心要求高的场合，宜选用（　　）连接。

A．平键　　B．半圆键　　C．销　　D．花键

56．带传动的优点是（　　）。

A．传动比准确　　B．结构紧凑　　C．传动平稳　　D．效率很高

57．一对直齿圆锥齿轮的正确啮合条件是（　　）。

A．$m_1=m_2$　　B．$a_1=a_2$

C．$m_1=m_2$　$a_1=a_2$　　D．$m_1=m_2=m$　$a_1=a_2=a$

58．定轴轮系首、末两轮转速之比，等于组成该轮系的（　　）之比。

A．所有主动轮系数连乘积与所有从动轮齿系数连乘积

B．所有从动轮系数连乘积与所有主动轮齿系数连乘积

C．任意两个主动轮和从动轮

D．中间惰性齿数

59．7000 表示（　　）轴承。

A．推离球　　B．圆锥滚子　　C．圆柱滚子　　D．调心滚子

60．液压传动中容易控制的是（　　）。

A．压力方向和流量　B．泄漏噪声　　　　C．冲击振动　　　　D．温度

二、判断题（第 61～80 题，将判断结果填入括号中。正确的填√，错误的填×。每题 1.0 分，满分 20 分）

（　　）61．磁路和电路一样，也有开路状态。

（　　）62．用晶体管图示仪观察共发射极放大电路的输入特性时，*X* 轴作用开关应置于基极电压，*Y* 轴作用开关置于基极电流或基极源电压。

（　　）63．使用示波器时，应将被测信号接入 *Y* 轴输入端钮。

（　　）64．同步示波器一般采用了连续扫描方式。

（　　）65．克服零点漂移最有效的措施是采用交流负反馈电路。

（　　）66．硅稳压管稳压电路只适应于负载较小的场合，且输出电压不能任意调节。

（　　）67．与门的逻辑功能可概括为有 0 出 0，有 1 出 1。

（　　）68．变压器同心绕组常把低压绕组装在里面，高压绕组装在外面。

（　　）69．直流电动机的电刷一般用石墨粉压制而成。

（　　）70．自整角电动机是一种感应式机电元件。

（　　）71．无换向整流直流电动机是采用集电环和电刷而不用换向器式的直流电动机。

（　　）72．电流截止负反馈环节参与调节作用。

（　　）73．磁栅输出信号的大小与磁头和磁性标尺的相对速度无关。

（　　）74．SCR-D 拖动方式直流电梯比 F-D 拖动方式直流电梯节能。

（　　）75．在交流电梯进行关门过程中，有人触及安全板时，电梯仍然继续关门。

（　　）76．为了保证 PLC 交流电梯安全运行，安全触点采用常开触点输入到 PLC 的输入接口。

（　　）77．PLC 交流电梯自由状态时，按下直流按钮电梯迅速达到所需要层。

（　　）78．PLC 可编程序控制器是以并行方式进行工作的。

（　　）79．平面四杆机构中至少存在一个曲柄。

（　　）80．链条的主要参数是节距。

三、简答题（81～84 题。每题 5 分，满分 20 分）

81．要在一个示波器的屏幕上同时显示两个信号的波形，可采用那些方法?

82．什么是伺服电动机?有几种类型?工作特点是什么?

83．有一个直流含源二端网络，用内阻为 50kΩ的电压表测得它两端的电压为 100V，用内阻为 150kΩ的电压表测得它两端的电压为 150V，求这个网络的等效电动势和内阻。

84．有一三相半控桥式整流电路，接在次极电压 $U_{2\Phi}$为 100V 的三相变压器上，求：

（1）控制角 a=0° 时，整流输出电平 U_{LAV}=?

（2）控制角 a=90° 时，整流输出电压平均值 U_{LAV}=?

中级维修电工理论复习试题答案

一题：1-10　AAADCDBADC　　　11-20　AACCDBADDC

　　　21-30　BBACAAABDA　　　31-40　ABAACACCBC

41-50　BBAACCCDCB　　　　　51-60　ABAADCCBBA

二题：61-70　　××√××××√×√

71-80　　√××√××××√×

81．答：1．采用双线示波器（具有两个电子枪，两套偏转系统的示波管）。2．将两个被测信号用电子开关控制，不断交替送入普通示波管中轮流显示，由于示波管余辉和人眼视觉暂留的缘故，当转换速度很快时，看起来就好像同时显示两个波形——双踪示波器。

82．答：伺服电动机（执行电动机）在自动控制系统中用作执行元件，把所收到的信号转换成电动机轴上的角位移或角速度。它分支流和交流两大类。其特点是：当信号电压为 0 时，无自转现象，转速随转矩的增加均匀下降，接到信号就迅速启动，失去信号立即停止，转速的大小与控制信号成正比。

83．解：$U_{ab}=E_oR_o/(R_o+R_b)$（R_o表示内阻）

将两次测得的结果代入上式得

$100=E_o\times50/(R_o+50)$

$150=E_o\times150/(R_o+150)$

解得 $E_o=200$V　$R_o=50$kΩ

84．解：① $U_{LAV}=2.34U_{2\Phi}(1+\cos a)/2=2.34\times100\times\cos0°=234$V

② $U_{LAV}=2.34U_{2\Phi}(1+\cos a)/2=117$V

附录B

导线颜色选择

1 依导线颜色标志电路时

1.1 黑色：装置和设备的内部布线。

1.2 棕色：直流电路的正极。

1.3 红色：三相电路和C相；

半导体三极管的集电极；

半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阴极。

1.4 黄色：三相电路的A相；

半导体三极管的基极；

晶闸管和双向晶闸管的控制极。

1.5 绿色：三相电路的B相。

1.6 蓝色：直流电路的负极；

半导体三极管的发射极；

半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阳极。

1.7 淡蓝色：三相电路的零线或中性线；

直流电路的接地中线。

1.8 白色：双向晶闸管的主电极；

无指定用色的半导体电路。

1.9 黄和绿双色（每种色宽约15～100mm交替贴接）；安全用的接地线。

1.10 红、黑色并行：用双芯导线或双根绞线连接的交流电路。

2 依电路选择导线颜色时

2.1 交流三相电路的A相：黄色。

B相：绿色。

C相：红色。

零线或中性线：淡蓝色。

安全用的接地线：黄和绿双色。

2.2 用双芯导线或双根绞线连接的交流电路：红黑色并行。

2.3 直流电路的正极：棕色。

负极：蓝色。

接地中线：淡蓝色。

2.4 半导体电路的半导体三极管的集电极：红色。

基极：黄色。

发射极：蓝色。

半导体二极管和整流二极管的阳极：蓝色。

阴极：红色。

晶闸管的阳极：蓝色。

控制极：黄色。

阴极：红色。

双向晶闸管的控制极：黄色。

主电极：白色。

2.5 整个装置及设备的内部布线一般推荐：黑色。

半导体电路：白色。

有混淆时：容许选指定用色外的其他颜色（如：橙、紫、灰、绿蓝、玫瑰红等）。

2.6 具体标色时，在一根导线上，如遇有两种或两种以上的可标色，视该电路的特定情况，依电路中需要表示的某种含义进行定色。

注：对于某种产品（如船舶电器）的母线，如国际上已有指定的国际标准，且与第 2.1 和 2.3 条的规定有差异时，亦允许按该国际标准所规定的色标进行标色。

附录C 照明装置安装工程施工及验收规范

1 总 则

1.0.1 为保证电气照明装置施工质量，促进技术进步，确保安全运行，制订本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑物、构筑物中电气照明装置安装工程的施工及验收。

1.0.3 电气照明装置的安装应按已批准的设计进行施工。当修改设计时，应经原设计单位同意，方可进行。

1.0.4 采用的设备、器材及其运输和保管应符合国家现行标准的有关规定；当设备和器材有特殊要求时，尚应符合产品技术文件的规定。

1.0.5 设备及器材到达施工现场后，应按下列要求进行检查：

1.0.5.1 技术文件应齐全。

1.0.5.2 型号、规格及外观质量应符合设计要求和本规范的规定。

1.0.6 施工中的安全技术措施，应符合本规范和国家现行的标准及产品技术文件的规定。

1.0.7 电气照明装置施工前，建筑工程应符合下列要求：

1.0.7.1 对灯具安装有妨碍的模板、脚手架应拆除；

1.0.7.2 顶棚、墙面等抹灰工作应完成，地面清理工作应结束。

1.0.8 电气照明装置施工结束后，对施工中造成的建筑物、构筑物局部破损部分，应修补完整。

1.0.9 当在砖石结构中安装电气照明装置时，应采用预埋吊钩、螺栓、螺钉、膨胀螺栓、尼龙塞或塑料塞固定；严禁使用木楔。当设计无规定时，上述固定件的承载能力应与电气照明装置的重量相匹配。

1.0.10 在危险性较大及特殊危险场所，当灯具距地面高度小于2.4m时，应使用额定电压为36V及以下的照明灯具，或采取保护措施。

1.0.11 安装在绝缘台上的电气照明装置，其导线的端头绝缘部分应伸出绝缘台的表面。

1.0.12 电气照明装置的接线应牢固，电气接触应良好；需接地或接零的灯具、开关、插座等非带电金属部分，应有明显标志的专用接地螺钉。

1.0.13 电气照明装置的施工及验收，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

2 灯具

2.0.1 灯具及其配件应齐全，并应无机械损伤、变形、油漆剥落和灯罩破裂等缺陷。

2.0.2 根据灯具的安装场所及用途，引向每个灯具的导线线芯最小截面应符合表2.0.2的规定。

表 2.0.2

灯具安装场所及用途		线芯最小截面（mm^2）		
		铜芯软性	铜芯线	铝线
灯头线	民用建筑室内	0.4	0.5	2.5
	工业建筑室内	0.5	0.8	2.5
	室外	1.0	1.0	2.5
移动用电设备的导线	生活用	0.4	—	—
	生产用	1.0	—	—

2.0.3 灯具不得直接安装在可燃构件上；当灯具表面高温部位靠近可燃物时，应采取隔热、散热措施。

2.0.4 在变电所内，高压、低压配电设备及母线的正上方，不应安装灯具。

2.0.5 室外安装的灯具，距地面的高度不宜小于 3m；当在墙上安装时，距地面的高度不应小于 2.5m。

2.0.6 螺口灯头的接线应符合下列要求：

2.0.6.1 相线应接在中心触点的端子上，零线应接在螺纹的端子上。

2.0.6.2 灯头的绝缘外壳不应有破损和漏电。

2.0.6.3 对带开关的灯头，开关手柄不应有裸露的金属部分。

2.0.7 对装有白炽灯泡的吸顶灯具，灯泡不应紧贴灯罩；当灯泡与绝缘台之间的距离小于 5mm 时，灯泡与绝缘台之间应采取隔热措施。

2.0.8 灯具的安装应符合下列要求：

2.0.8.1 采用钢管作灯具的吊杆时，钢管内径不应小于 10mm；钢管壁厚度不应小于 1.5mm。

2.0.8.2 吊链灯具的灯线不应受拉力，灯线应与吊链编叉在一起。

2.0.8.3 软线吊灯的软线两端应作保护扣；两端芯线应搪锡。

2.0.8.4 同一室内或场所成排安装的灯具，其中心线偏差不应大于 5mm。

2.0.8.5 日光灯和高压汞灯及其附件应配套使用，安装位置应便于检查和维修。

2.0.8.6 灯具固定应牢固可靠。每个灯具固定用的螺钉或螺栓不应少于 2 个；当绝缘台直径为 75mm 及以下时，可采用 1 个螺钉或螺栓固定。

2.0.9 公共场所用的应急照明灯和疏散指示灯，应有明显的标志。无专人管理的公共场所照明宜装设自动节能开关。

2.0.10 每套路灯应在相线上装设熔断器。由架空线引入路灯的导线，在灯具入口处应做防水弯。

2.0.11 36V 及以下照明变压器的安装应符合下列要求：

2.0.11.1 电源侧应有短路保护，其熔丝的额定电流不应大于变压器的额定电流。

2.0.11.2 外壳、铁芯和低压侧的任意一端或中性点，均应接地或接零。

2.0.12 固定在移动结构上的灯具，其导线宜敷设在移动构架的内侧；在移动构架活动时，导线不应受拉力和磨损。

2.0.13 当吊灯灯具质量大于 3kg 时，应采用预埋吊钩或螺栓固定；当软线吊灯灯具重量大于 1kg 时，应增设吊链。

2.0.14 投光灯的底座及支架应固定牢固，枢轴应沿需要的光轴方向拧紧固定。

2.0.15 金属卤化物灯的安装应符合下列要求：

2.0.15.1 灯具安装高度宜大于 5m，导线应经接线柱与灯具连接，且不得靠近灯具表面。

2.0.15.2 灯管必须与触发器和限流器配套使用。

2.0.15.3 落地安装的反光照明灯具，应采取保护措施。

2.0.16 嵌入顶棚内的装饰灯具的安装应符合下列要求：

2.0.16.1 灯具应固定在专设的框架上，导线不应贴近灯具外壳，且在灯盒内应留有余量，灯具的边框应紧贴在顶棚面上。

2.0.16.2 矩形灯具的边框宜与顶棚面的装饰直线平行，其偏差不应大于 5mm。

2.0.16.3 日光灯管组合的开启式灯具，灯管排列应整齐，其金属或塑料的间隔片不应有扭曲等缺陷。

2.0.17 固定花灯的吊钩，其圆钢直径不应小于灯具吊挂销、钩的直径，且不得小于 6mm。对大型花灯、吊装花灯的固定及悬吊装置，应按灯具重量的 1.25 倍做过载试验。

2.0.18 安装在重要场所的大型灯具的玻璃罩，应按设计要求采取防止碎裂后向下溅落的措施。

2.0.19 霓虹灯的安装应符合下列要求：

1.0.19.1 灯管应完好，无破裂。

2.0.19.2 灯管应采用专用的绝缘支架固定，且必须牢固可靠。专用支架可采用玻璃管制成。固定后的灯管与建筑物、构筑物表面的最小距离不宜小于 20mm。

2.0.19.3 霓虹灯专用变压器所供灯管长度不应超过允许负载长度。

2.0.19.4 霓虹灯专用变压器的安装位置宜隐蔽，且方便检修，但不宜装在吊平顶内，并不宜被非检修人员触及。明装时，其高度不宜小于 3m；当小于 3m 时，应采取防护措施；在室外安装时，应采取防水措施。

2.0.19.5 霓虹灯专用变压器的二次导线和灯管间的连接线，应采用额定电压不低于 15kV 的高压尼龙绝缘导线。

2.0.19.6 霓虹灯专用变压器的二次导线与建筑物、构筑物表面的距离不应小于 20mm。

2.0.20 手术台无影灯的安装应符合下列要求：

2.0.20.1 固定灯座螺栓的数量不应少于灯具法兰底座上的固定孔数，且螺栓直径应与孔径匹配。

2.0.20.2 在混凝土结构中，预埋件应与主筋焊接。

2.0.20.3 固定无影灯底座的螺栓应采用双螺母锁紧。

2.0.21 手术台无影灯导线的敷设应符合下列要求：

2.0.21.1 灯泡应间隔地接在两条专用的回路上。

2.0.21.2 开关至灯具的导线应使用额定电压不低于 500V 的铜芯多股绝缘导线。

3　插座、开关、吊扇、壁扇

3.1 插座

3.1.1 插座的安装高度应符合设计的规定，当设计无规定时，应符合下列要求：

3.1.1.1 距地面高度不宜小于 1.3m 托儿所、幼儿园及小学校不宜小于 1.8m；同一场所安装的插座高度应一致。

3.1.1.2 车间及试验室的插座安装高度距地面不宜小于 0.3m；特殊场所暗装的插座不应小

于 0.15m；同一室内安装的插座高度差不宜大于 5mm；并列安装的相同型号的插座高度差不宜大于 1mm。

3.1.1.3 落地插座应具有牢固可靠的保护盖板。

3.1.2 插座的接线应符合下列要求：

3.1.2.1 单相两孔插座，面对插座的右孔或上孔与相线相接，左孔或下孔与零线相接；单相三孔插座，面对插座的右孔与相线相接，左孔与零线相接。

3.1.2.2 单相三孔、三相四孔及三相五孔插座的接地线或接零线均应接在上孔。插座的接地端子不应与零线端子直接连接。

3.1.2.3 当交流、直流或不同电压等级的插座安装在同一场所时，应有明显的区别，且必须选择不同结构、不同规格和不能互换的插座；其配套的插头，应按交流、直流或不同电压等级区别使用。

3.1.2.4 同一场所的三相插座，其接线的相位必须一致。

3.1.3 暗装的插座应采用专用盒；专用盒的四周不应有空隙，且盖板应端正，并紧贴墙面。

3.1.4 在潮湿场所，应采用密封良好的防水防溅插座。

3.2 开关

3.2.1 安装在同一建筑物、构筑物内的开关，宜采用同一系列的产品，开关的通断位置应一致，且操作灵活、接触可靠。

3.2.2 开关安装的位置应便于操作，开关边缘距门框的距离宜为 0.15～0.2m；开关距地面高度宜为 1.3m；拉线开关距地面高度宜为 2～3m，且拉线出口应垂直向下。

3.2.3 并列安装的相同型号开关距地面高度应一致，高度差不应大于 1mm；同一室内安装的开关高度差不应大于 5mm；并列安装的拉线开关的相邻间距不宜小于 20mm。

3.2.4 相线应经开关控制；民用住宅严禁装设床头开关。

3.2.5 暗装的开关应采用专用盒；专用盒的四周不应有空隙，且盖板应端正，并紧贴墙面。

3.3 吊扇

3.3.1 吊扇挂钩应安装牢固，吊扇挂钩的直径不应小于吊扇悬挂销钉的直径，且不得小于 8mm。

3.3.2 吊扇悬挂销钉应装设防振橡胶垫；销钉的防松装置应齐全、可靠。

3.3.3 吊扇扇叶距地面高度不宜小于 2.5m。

3.3.4 吊扇组装时，应符合下列要求：

3.3.4.1 严禁改变扇叶角度。

3.3.4.2 扇叶的固定螺钉应装设防松装置。

3.3.4.3 吊杆之间、吊杆与电机之间的螺纹连接，其啮合长度每端不得小于 20mm，且应装设防松装置。

3.3.5 吊扇应接线正确，运转时扇叶不应有明显颤动。

3.4 壁扇

3.4.1 壁扇底座可采用尼龙塞或膨胀螺栓固定；尼龙塞或膨胀螺栓的数量不应少于两个，且直径不应小于 8mm。壁扇底座应固定牢固。

3.4.2 壁扇的安装，其下侧边缘距地面高度不宜小于 1.8m，且底座平面的垂直偏差不宜大于 2mm。

3.4.3 壁扇防护罩应扣紧，固定可靠，运转时扇叶和防护罩均不应有明显的颤动和异常声响。

4 照明配电箱（板）

4.0.1 照明配电箱（板）内的交流、直流或不同电压等级的电源，应具有明显的标志。

4.0.2 照明配电箱（板）不应采用可燃材料制作；在干燥无尘的场所，采用的木制配电箱（板）应经阻燃处理。

4.0.3 导线引出面板时，面板线孔应光滑无毛刺，金属面板应装设绝缘保护套。

4.0.4 照明配电箱（板）应安装牢固，其垂直偏差不应大于 3mm；暗装时，照明配电箱（板）四周应无空隙，其面板四周边缘应紧贴墙面，箱体与建筑物、构筑物接触部分应涂防腐漆。

4.0.5 照明配电箱底边距地面高度宜为 1.5m；照明配电板底边距地面高度不宜小于 1.8m。

4.0.6 照明配电箱（板）内，应分别设置零线和保护地线（PE 线）汇流排，零线和保护线应在汇流排上连接，不得绞接，并应有编号。

4.0.7 照明配电箱（板）内装设的螺旋熔断器，其电源线应接在中间触点的端子上，负荷线应接在螺纹的端子上。

4.0.8 照明配电箱（板）上应标明用电回路名称。

5 工程交接验收

5.0.1 工程交接验收时，应对下列项目进行检查：

5.0.1.1 并列安装的相同型号的灯具、开关、插座及照明配电箱（板），其中心轴线、垂直偏差、距地面高度。

5.0.1.2 暗装开关、插座的面板，盒（箱）周边的间隙，交流、直流及不同电压等级电源插座的安装。

5.0.1.3 大型灯具的固定，吊扇、壁扇的防松、防振措施。

5.0.1.4 照明配电箱（板）的安装和回路编号。

5.0.1.5 回路绝缘电阻测试和灯具试亮及灯具控制性能。

5.0.1.6 接地或接零。

5.0.2 工程交接验收时，应提交下列技术资料和文件：

5.0.2.1 竣工图。

5.0.2.2 变更设计的证明文件。

5.0.2.3 产品的说明书、合格证等技术文件。

5.0.2.4 安装技术记录。

5.0.2.5 试验记录。包括灯具程序控制记录和大型、重型灯具的固定及悬吊装置的过载试验记录。

附录D

习题答案

习题 1 答案

1～5 A A B C B	6～10 A B A A A
11～15 B C C B B	16～20 A A B A B
21～25 C B C A C	26～30 C B A C A
31～35 A B B C A	36～40 C C C A A
41～45 C B A A C	46～50 C B A B D
51～55 C B C D D	56～60 A A D D C
61～65 B B A A A	66～70 A A A A C

习题 2 答案

1～5 A A B C B	6～10 B（B、C） C D B
11～15 C C C D A	16～20 B D A A A
21～25 D C A D C	26～30 A C A D A
31～35 C B C B A	36～40D A C A D
41～45 C A B A B	46～50 D C A C D
51～55 C D C D B	56～60 A D B C B

习题 3 答案

一、选择题

1～5 A D A D B	6～10 C D D B B
11～15A D C A A	16 C

二、简答题

1．三相异步电动机的启动基本要求有哪些？

答：① 电动机应有足够大的启动转矩。

② 在保证一定大小的启动转矩前提下，电动机的启动电流应尽量小。

③ 启动所需的控制设备应尽量简单，价格力求低廉，操作及维护方便。

④ 启动过程中的能量损耗尽量小。

2．什么叫三相异步电动机的降压启动？有哪几种降压启动的方法？

答：降压启动是指启动时降低加在电动机定子绕组上的电压，启动结束后加额定电压运行的启动方式。

① Y-△降压启动。

② 串电阻（电抗）降压启动。

③ 自耦变压器降压启动。

3．电动机的启动电流很大，当电动机启动时，热继电器会不会动作？为什么？

答：不会动作。因为热继电器具有反时限保护特性，电动机启动时间又很短，在这个时间内，热继电器的双金属片弯曲的程度不能使触点动作。

4．三相异步电动机正常运行时，如果转子突然被卡住而不能转动，试问这时电动机的电流有何改变？对电动机有何影响？

答：电动机的电流会迅速增加，如果时间稍长电动机有可能会烧毁。

习题 4 答案

1．摇臂不能升降，可能有哪些原因？

答：可能的元原因有：

① SQ_2 不能动作，或其开路。

② 时间继电器 KT_1 损坏（不能动作），或其线圈开路，或其瞬动触点不动作或开路。

③ 升降控制电动机的接触器开路或不能动作。

2．钻床按其结构形式可分为哪些类型？

答：钻床按其结构形式可分为：立式钻床、台式钻床、摇臂钻床和专门化钻床如深孔钻床等。

3．铣床的控制要求与特点。

答：XA6132 型铣床的控制要求，具体有以下几点：

① 主轴电动机正、反转运行，以实现顺铣、逆铣。

② 主轴具有停车制动，由制动电磁离合器实现。

③ 主轴变速箱在变速时具有变速冲动，即短时点动，以利于变速时的齿轮啮合。

④ 进给电动机正、反转运行。

⑤ 主轴电动机与进给电动机具有联锁，以防在主轴没有运转时，工作台进给损坏刀具或工件。

⑥ 圆工作台进给与矩形工作台进给具有互锁，以防损坏刀具或工件。

⑦ 矩形工作台各进给方向具有互锁，以防损坏工作台进给机构。

⑧ 工作台进给变速箱在变速时同样具有变速冲动。

⑨ 主轴制动、工作台的工进和快进由相应的电磁接通对应的机械传动链实现。

⑩ 具有完善的电气保护。

习题 5 答案

1．电力系统由哪几部分组成？各部分的作用是什么？

电力系统由发电、变电、送配电和用电构成一个整体。

发电厂是把其他形式的能量，如水能、太阳能、风能、核能等转换成电能的工厂。

变配电所是接受电能、改变电能电压并分配电能的场所，主要由电力变压器与开关设备组成，是电力系统的重要组成部分。

电力网是指输电、变电和分配电能的网络，由输电线和变配电所组成，分为输电网和配电网。

2．低压配电系统的配电方式有哪些？各有什么特点？

放射式、树干式、混合式。

放射式：放射式配电的优点是各个负荷独立受电，因而故障范围一般仅限于本回路，放射式配电一般多用于对供电可靠性要求高的负荷或大容量设备。

树干式：树干式配电的特点正好与放射式配电相反。干线发生故障时，影响范围大，因

此供电可靠性较低。

混合式：既有放射式配电的优点，又克服了树干的缺点。

3．常用的绝缘电线有哪几种？各有什么优缺点？

常用的绝缘电线有：

① 塑料绝缘电线有普通类、绝缘软线、阻燃型、耐热型、双绞复合物软线、平型复合物软线。

特点：这类电线的绝缘性能很好，制造工艺简便，价格较低，缺点是对气候适应性能差，低温时变硬发脆，高温或日光照射下增塑剂容易发挥而使绝缘体老化加快。

② 皮绝缘电线有棉纱编织橡皮绝缘线、玻璃丝编制橡皮绝缘线、氯丁橡皮绝缘线。

棉纱编织橡皮绝缘线、玻璃丝编制橡皮绝缘线特点：弯曲性能好，对气候适应较广，但生产工艺复杂，成本较高。

氯丁橡皮绝缘线特点： 绝缘性能良好，且耐油，不易霉，不延燃，适应气候性能好，光老化过程缓慢，老化时间约为普通橡皮绝缘电线的两倍，适宜室外敷设。